ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1905 г. ТОМЪ 6 No. 3

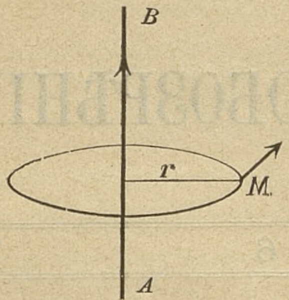
Современное ученіе объ аномальной дисперсіи

А. К. Тимирязева

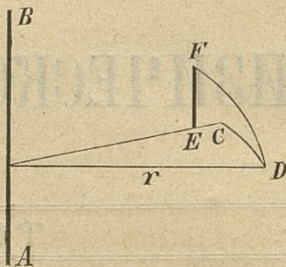
Послѣ опытовъ Герца электромагнитная теорія Максвелля получила всеобщее признаніе; вплоть до настоящаго времени она продолжаетъ получать все болѣе и болѣе вѣскія экспериментальныя доказательства. Становясь на точку зрѣнія Максвелля, мы должны признать, что всѣ оптическія явленія представляютъ частный случай обширнаго класса явленій электромагнитныхъ. Въ предлагаемомъ очеркѣ мы остановимся на томъ объясненіи, которое даетъ эта новая теорія свѣта для одного изъ самыхъ сложныхъ явленій оптики—явленія аномальной дисперсіи.

Задача, которую должна рѣшить теорія, заключается въ изслѣдованіи и объясненіи той связи, которая существуетъ между длиною волны и соотвѣтствующимъ ей показателемъ преломленія. Прежде, чѣмъ приступить къ поставленной задачѣ, ознакомимся въ общихъ чертахъ съ законами распространенія электромагнитныхъ волнъ въ средахъ, гдѣ нѣтъ дисперсіи и гдѣ, слѣдовательно, волны распространяются со скоростью, не зависящею отъ ихъ длины.

Изъ опытовъ Біо и Савара слѣдуетъ, что сила f, дѣйствующая на магнитный полюсъ M (фиг. 1) съ „массою“ +1, находящійся на разстояніи r отъ прямолинейнаго проводника AB, по ко-



фиг. 1.



фиг. 2.

торому идетъ токъ, направлена перпендикулярно къ AB и къ прямой r и по величинѣ опредѣляется соотношеніемъ:

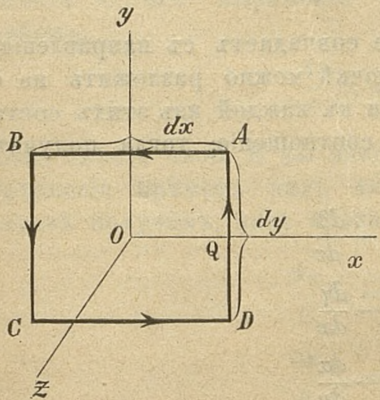
$$f = \frac{2J}{r}, \tag{1}$$

гдѣ J величина тока, выраженная въ электромагнитныхъ единицахъ. Работа силы f при перемѣщеніи полюса по кругу радіуса r будетъ

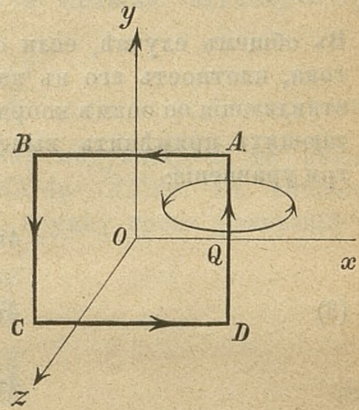
$$A = 2\pi r \, . \, \frac{2J}{r} = 4\pi J \tag{2}$$

Эта работа, какъ видно изъ послѣдняго ур-ія не зависитъ отъ радіуса r. Далѣе нетрудно убѣдиться, что величина работы останется та же, какова бы ни была та кривая, по которой движется полюсъ, лишь бы она была замкнута. Въ самомъ дѣлѣ, во всякую кривую можно вписать ломанную, состоящую изъ отрѣзковъ параллельныхъ радіусамъ и линіи AB и изъ отрѣзковъ дугъ, центры которыхъ лежатъ на AB. Такъ какъ сила f имѣетъ потенціалъ, то работа не зависитъ отъ пути, т. е. работа будетъ одна и та же, движется-ли полюсъ между точками F и D (фиг. 2) по элементу кривой FD или по ломанной $FECD$; но работа по FE и EC равна нулю, потому что сила f перпендикулярна къ этимъ элементамъ, а работа на пути CD равняется: $(2J/r)r.\Delta\varphi$; для всего замкнутаго контура получимъ снова $4\pi J$. Ту же работу можно выразить иначе. Положимъ, что

нашъ проводникъ имѣетъ сѣченіемъ прямоугольникъ $dx.dy$ (фиг. 3), и пусть полюсъ $+1$ описываетъ путь $ABCDA$. Обозначимъ чрезъ α, β и γ слагающія силы f по осямъ. Такъ какъ при пере-



фиг. 3.



фиг. 4.

ходѣ отъ одной точки поля къ другой сила f измѣняется, то величины α, β и γ могутъ быть представлены, какъ функціи координатъ x, y и z. Работа силы f на пути DA выразится:

$$\left(\beta+\frac{d\beta}{dx}\frac{dx}{2}\right)dy \text{ [1]};$$

точно такъ же выразятся величины работы силы f и на остальныхъ элементахъ пути:

$$-\left(\alpha+\frac{d\alpha}{dy}\frac{dy}{2}\right)dx,\ -\left(\beta-\frac{d\beta}{dx}\frac{dx}{2}\right)dy,\ \left(\alpha-\frac{d\alpha}{dy}\frac{dy}{2}\right)dx$$

Складывая эти четыре выраженія, находимъ

$$A=\left(\frac{d\beta}{dx}-\frac{d\alpha}{dy}\right)dxdy.$$

Съ другой стороны мы нашли (2), что $A=4\pi J$; сравнивая эти

---

[1] Выраженіе силы β, дѣйствующей на пути DA, получится, если въ функцію β вмѣсто координатъ начала $O(o, o, o)$ подставить координаты $Q(dx/2, o, o)$ и разложить по строкѣ Тайлора. Если мы ограничимся первыми степенями разложенія, то получимъ $\beta+(d\beta/dx).dx/2$, гдѣ подъ β и $d\beta/dx$ надо разумѣть значенія функціи β и ея производной въ началѣ координатъ.

выраженія и полагая $J = wdxdy$, гдѣ w „плотность тока", имѣемъ:

$$4\pi w = \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy}.$$

Въ общемъ случаѣ, если ось z не совпадаетъ съ направленіемъ тока, плотность его въ каждой точкѣ можно разложить на составляющія по осямъ координатъ и къ каждой изъ этихъ составляющихъ примѣнить выведенное соотношеніе; тогда получатся три уравненія:

$$(3) \qquad \begin{aligned} 4\pi u &= \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} \\ 4\pi v &= \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} \\ 4\pi w &= \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} \end{aligned}$$

Работа силы f, затрачиваемая на движеніе полюса, черпается изъ запаса энергіи, которымъ обладаетъ токъ; при этомъ токъ ослабѣваетъ, и для того, чтобы сохранить его безъ измѣненія величины, къ цѣпи надо приложить нѣкоторую добавочную электрическую силу, работа которой всецѣло пойдетъ на движеніе полюса. Выразимъ эту мысль аналитически. Пусть контуръ $ABCD$ (фиг. 4) обтекается въ направленіи стрѣлокъ токомъ J', выраженнымъ въ электростатическихъ единицахъ. Тогда воображаемый магнитный полюсъ $+m$ будетъ двигаться чрезъ контуръ въ направленіи $+z$ и будетъ крутиться около какой-либо изъ сторонъ прямоугольника $ABCD$. Работа добавочной электрической силы E при перемѣщеніи единицы заряда по $ABCDA$, по аналогіи съ соотношеніями (3), выразится:

$$(4) \qquad B = \left(\frac{dY}{dx} - \frac{dX}{dy}\right) dxdy,$$

гдѣ X и Y слагающія силы E по осямъ x и y. Но въ цѣпи $ABCD$ за время t проходитъ $J't$ единицъ заряда; слѣдовательно полная работа силы E за время t будетъ $BJ't$. Эта работа затрачивается на движеніе полюса m, который во время t описываетъ замкнутую кривую вокругъ одной изъ сторонъ прямоугольника $ABCD$; но по уравненію (2) эта работа$=4\pi mJ$ или, если выразить токъ

въ электростатическихъ единицахъ, $4\pi mJ/c$, гдѣ c отношеніе электростатическихъ единицъ къ электромагнитнымъ ($J'/J=c$). Сравнивая оба выраженія, находимъ $B=4\pi m/ct$ или, подставляя вмѣсто B его выраженіе изъ (4) и полагая $m/t\,dxdy=S_z$, имѣемъ:

$$\frac{4\pi}{c}S_z=\frac{dY}{dx}-\frac{dX}{dy}.$$

Если вмѣсто силы E мы введемъ силу индукціи, $-E$, то наше уравненіе приметъ видъ $4\pi S_z/c=dX/dy-dY/dx$. Въ общемъ случаѣ получимъ, какъ и раньше (3), группу трехъ уравненій:

$$\frac{4\pi}{c}S_x=\frac{dY}{dz}-\frac{dZ}{dy}$$

$$\frac{4\pi}{c}S_y=\frac{dZ}{dx}-\frac{dX}{dz} \qquad (5)$$

$$\frac{4\pi}{c}S_z=\frac{dX}{dy}-\frac{dY}{dx}$$

Уравненія (3) и (5) являются основными въ электромагнитной теоріи и носятъ названіе *уравненій Максвелля.*

Для рѣшенія какой бы то ни было задачи съ помощью уравненій (3) и (5) необходимо еще знать связь между плотностью тока и электрической силой, а также между „магнитнымъ токомъ“ и магнитною силой. Характеръ этихъ связей опредѣляется свойствами среды; такъ въ проводникѣ сила тока опредѣляется соотношеніемъ Ома: зависимость между плотностью тока и электродвижущей силой—прямая пропорціональность; въ діэлектрикѣ зависимость будетъ уже иная. Приступая къ изученію распространенія волнъ въ діэлектрикахъ, прежде всего надо условиться, что понимать подъ токомъ въ діэлектрикѣ?

Представимъ себѣ, что въ воздухѣ, діэлектрическая постоянная котораго почти равна 1, находится наэлектризованное тѣло съ зарядомъ e; обусловленное этимъ зарядомъ поле можно представить системою т. н. силовыхъ нитей, направленіе которыхъ въ каждой данной точкѣ совпадаетъ съ направленіемъ электрической силы въ этой точкѣ. Этимъ способомъ поле можно охарактеризовать и съ количественной стороны. Пусть чрезъ единицу поверхности сферы радіуса r, въ центрѣ котораго на-

ходится заряженное тѣло, проходитъ N нитей, причемъ N численно равняется e/r^2, т. е. силѣ, дѣйствующей на единицу заряда, находящагося въ разстояніи r отъ e. Общее число нитей, пронизывающихъ сферу радіуса r,

$$n = 4\pi r^2 N = 4\pi e.$$

Итакъ, если мы будемъ представлять себѣ, что изъ каждаго заряда e исходитъ $4\pi e$ нитей, то число нитей, пересѣкающихъ единицу площади, лежащую нормально къ направленію нитей, даетъ прямо величину силы въ разсматриваемой области поля. Въ діэлектрикѣ съ постоянною ε сила $E = e/\varepsilon r^2$; если мы оставимъ то же число нитей, т. е., если на единицу поверхности сферы r по прежнему приходится $N = e/r^2$ нитей, то электрическая сила уже будетъ опредѣляться соотношеніемъ

$$\varepsilon E = N. \tag{6}$$

Всякое измѣненіе заряда, сопровождающееся электрическимъ токомъ, влечетъ за собой измѣненіе числа силовыхъ нитей. Скорость измѣненія заряда, т. е. токъ $de/dt = (dn/dt)/4\pi$, а плотность тока, т. е. токъ, отнесенный къ единицѣ сѣченія,

$$u_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{dN}{dt} \tag{7}$$

Итакъ, плотность тока въ діэлектрикѣ равна скорости измѣненія числа проходящихъ чрезъ единицу поверхности силовыхъ нитей, дѣленной на 4π. Принимая во вниманіе (6), находимъ

$$u_0 = \frac{\varepsilon}{4\pi}\frac{dE}{dt}. \tag{8}$$

Точно также для величинъ S_x, S_y и S_z получимъ

$$S_x = \frac{\mu}{4\pi}\frac{d\alpha}{dt}. \tag{9}$$ [1]

---

[1]) Въ выраженіяхъ (8) и (9) ε и μ предполагаются постоянными, т. е. среда предполагается однородною; въ противномъ случаѣ $u_0 = (d\varepsilon E/dt)/4\pi$ и $S_x = (d\mu\alpha/dt)/4\pi$ и т. д.; при этомъ выраженія $S_x = (d\mu\alpha/dt)/4\pi$ и т. д. представляютъ общія выраженія плотностей магнитнаго тока, такъ какъ постоянныхъ магнитныхъ токовъ аналогичныхъ электрическимъ токамъ въ проводникахъ не существуетъ.

Далѣе, для любого діэлектрика мы съ большимъ приближеніемъ можемъ положить $\mu = 1$, такъ какъ она значительно отличается отъ единицы только въ сильно парамагнитныхъ тѣлахъ, какъ напримѣръ желѣзо и никкель. Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что уравненія (3) и (5) для однороднаго діэлектрика принимаютъ видъ:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\varepsilon}{c}\frac{dX}{dt} &= \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} \\ \frac{\varepsilon}{c}\frac{dY}{dt} &= \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} \\ \frac{\varepsilon}{c}\frac{dZ}{dt} &= \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} \end{aligned}\right\} \text{(I)} \qquad \left.\begin{aligned} \frac{1}{c}\frac{d\alpha}{dt} &= \frac{dY}{dz} - \frac{dZ}{dy} \\ \frac{1}{c}\frac{d\beta}{dt} &= \frac{dZ}{dx} - \frac{dX}{dz} \\ \frac{1}{c}\frac{d\gamma}{dt} &= \frac{dX}{dy} - \frac{dY}{dx} \end{aligned}\right\} \text{(II)}$$

Если мы возьмемъ производную по времени отъ перваго уравненія группы (I) и измѣнимъ порядокъ дифференцированія въ правой части, то получимъ:

$$\frac{\varepsilon}{c}\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{d}{dy}\left(\frac{d\gamma}{dt}\right) - \frac{d}{dz}\left(\frac{d\beta}{dt}\right);$$

подставляя вмѣсто $d\gamma/dt$ и $d\beta/dt$ ихъ выраженія изъ (II), находимъ:

$$\frac{\varepsilon}{c^2}\frac{d^2X}{dx^2} = \frac{d}{dy}\left(\frac{dX}{dy} - \frac{dY}{dx}\right) - \frac{d}{dx}\left(\frac{dZ}{dx} - \frac{dX}{dz}\right);$$

прибавляя и вычитая изъ правой части d^2X/dx^2, мы можемъ привести данное уравненіе къ виду:

$$\frac{\varepsilon}{c}\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{d^2X}{dx^2} + \frac{d^2Y}{dy^2} + \frac{d^2Z}{dz^2} - \frac{d}{dx}\left\{\frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz}\right\} \qquad (10)$$

Выраженіе въ скобкахъ въ уравненіи (10) не зависитъ отъ времени; въ самомъ дѣлѣ, дифференцируемъ уравненія (I) соотвѣтственно по x, y и z и складываемъ: въ правой части получимъ нуль, а въ лѣвой $d(dX/dx + dY/dy + dZ/dz)/dt$. Разъ выраженіе $dX/dx + dY/dy + dZ/dz$ не зависитъ отъ времени, то оно не играетъ никакой роли въ явленіяхъ распространенія электромагнит-

ныхъ волнъ, и мы можемъ имъ пренебречь, не нарушая общности задачи; послѣ этого уравненіе (10) можно замѣнить слѣдующимъ

$$\frac{\varepsilon}{c^2}\frac{d^2X}{dt^2}=\frac{d^2X}{dx^2}+\frac{d^2X}{dy^2}+\frac{d^2X}{dz^2} \tag{11}$$

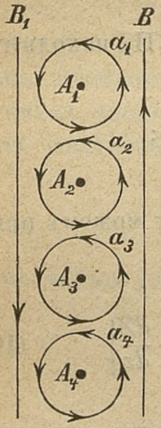
Такія же уравненія получимъ и для остальныхъ величинъ: Y, Z, α, β и γ. Положимъ для простоты, что X зависитъ только отъ z и t, а $Y=Z=0$; тогда уравненіе (11) еще болѣе упростится:

$$\frac{\varepsilon}{c^2}\frac{d^2X}{dt^2}=\frac{d^2X}{dz^2}. \tag{12}$$

Этому уравненію удовлетворяетъ функція вида

$$X=f\left(z-\frac{ct}{\sqrt{\varepsilon}}\right); \tag{13}$$

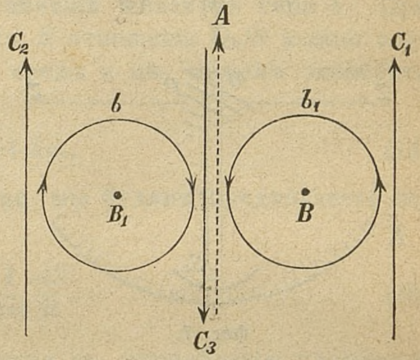
въ этомъ нетрудно убѣдиться, произведя подстановку. Уяснимъ себѣ смыслъ выраженія (13). Въ моментъ $t=0$, въ плоскости $z=0$ электрическая сила X имѣла значеніе $X_0=f(0)$, въ моментъ t_1 она будетъ имѣть то же значеніе $X_0=f(0)$ въ плоскости $z=z_1$, опредѣляемой соотношеніемъ $z_1-ct_1/\sqrt{\varepsilon}=0$, т. е. нѣкоторое возмущеніе X_0 прошло разстояніе z_1 со скоростью $v=c/\sqrt{\varepsilon}$. Нетрудно убѣдиться, что уравненію (12) удовлетворяется также функціею $X=f_1(z+ct/\sqrt{\varepsilon})$, что представляетъ уравненіе плоской волны, распространяющейся въ сторону $-z$ также со скоростью $v=c/\sqrt{\varepsilon}$; для эѳира $\varepsilon=1$, слѣдовательно $v=c$. Отношеніе скорости волны въ эѳирѣ къ скорости въ средѣ съ постоянною ε, т. е. показатель преломленія $n=c/v=\sqrt{\varepsilon}$ или $n^2=\varepsilon$ — *квадратъ показателя преломленія равняется діэлектрической постоянной.*



фиг. 5.

Механизмъ распространенія плоской волны можно представить наглядно слѣдующимъ образомъ. Пусть въ нѣкоторой плоскости мы имѣемъ рядъ прямолинейныхъ и параллельныхъ токовъ A_1, A_2, A_3 (фиг. 5); возникновеніе этихъ токовъ сопровождается появленіемъ магнитныхъ силовыхъ нитей

a_1, a_2..., которыя въ результатѣ дадутъ систему линій B и B_1; эти въ свою очередь вызываютъ въ діэлектрикѣ токи b, b_1,.... (фиг. 6), дѣйствіе которыхъ эквивалентно дѣйствіямъ токовъ C_1, C_2 и C_3; но система C_3 гаситъ систему A, A_1,.....: появленіе токовъ въ A, A_1 .... вызвало двѣ плоскихъ волны C_1 и C_2, распространяющихся по нормали къ плоскости, въ которой лежатъ токи A_1, A_2 и т. д.



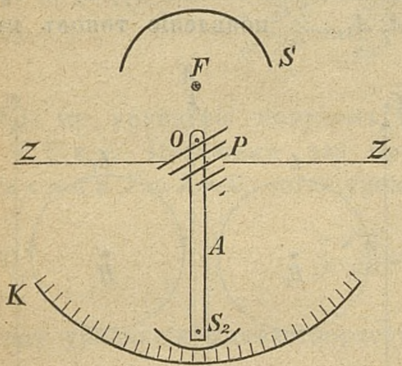
фиг. 6.

Если свѣтовыя волны отличаются отъ впервые полученныхъ Герцемъ электромагнитныхъ волнъ только количественно, то и для нихъ долженъ имѣть мѣсто законъ Максвелля, т. е. $n^2 = \varepsilon$, а между тѣмъ показатель преломленія есть величина перемѣнная, зависящая отъ періода колебанія. Тутъ, повидимому, электромагнитная теорія идетъ въ разрѣзъ съ фактами.

Это противорѣчіе объясняется тѣмъ, что, при изслѣдованіи законовъ распространенія волнъ, не было принято во вниманіе молекулярное строеніе матеріи. Пока дѣло шло о волнахъ въ нѣсколько центиметровъ, вліяніе строенія среды не сказывалось: потому что въ сравненіи съ такими волнами размѣры молекулъ безконечно малы; въ области же свѣтовыхъ колебаній этимъ вліяніемъ уже нельзя пренебрегать. Если, однако, это объясненіе вѣрно, если мы не наблюдаемъ дисперсіи электромагнитныхъ волнъ только потому, что онѣ велики въ сравненіи съ молекулами, то естественно является вопросъ: нельзя-ли построить такую среду, въ которой бы отношеніе между размѣрами ея элементовъ и длиною волны было то же, какое существуетъ между размѣрами молекулъ и волною свѣта? Не будемъ-ли мы въ такой средѣ наблюдать дисперсію электромагнитныхъ волнъ? Вопросъ этотъ рѣшенъ блестящими опытами италіянскаго физика Гарбассо.

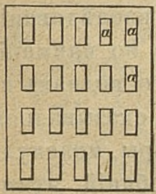
Схема его опытовъ была слѣдующая. Источникъ электромагнитныхъ колебаній—вибраторъ F (фиг. 7)—находился въ фокусѣ латуннаго зеркала S; пучокъ „электрическихъ лучей“ па-

далъ на призму P, составленную изъ ряда стеклянныхъ пластинокъ, на которыхъ были наклеены оловянные листочки a, a,... (фиг. 8).



фиг. 7.

Подъ дѣйствіемъ вибратора въ каждомъ изъ этихъ листочковъ возбуждаются колебанія, соотвѣтствующія одному изъ періодовъ вибратора; вообще вибраторъ испускаетъ цѣлый комплексъ волнъ. Короче говоря, мы имѣемъ призму, составленную изъ резонаторовъ, отвѣчающихъ на одинъ вполнѣ опредѣленный періодъ; далѣе рядъ резонаторовъ, настроенныхъ на различные періоды испускаемыхъ вибраторомъ волнъ, помѣщался въ различныхъ мѣстахъ полукруга K; линейка A съ резонаторомъ S_2 могла вращаться около O. Изъ этихъ опытовъ оказалось, что максимумъ дѣйствія на резонаторъ съ искрою [1]) наблюдался при различныхъ положеніяхъ линейки A въ зависимости отъ тона, на который былъ настроенъ резонаторъ, т. е. показатель преломленія зависитъ отъ длины волны. Если бы мы стали вычислять размѣры резонаторовъ для свѣтовыхъ волнъ, то получили бы размѣры молекулъ.


фиг. 8.

Для аналитическаго рѣшенія вопроса о распространеніи волнъ въ средѣ, наполненной молекулами-резонаторами, необходимо найти выраженіе плотности тока. Представимъ себѣ нашу среду разсѣченною плоскостью параллельною плоскости yz и обозначимъ площадь сѣченія чрезъ S; эта плоскость пройдетъ частью въ междумолекулярной средѣ, частью будетъ пересѣкать молекулы. Если плотность тока въ междумолекулярномъ пространствѣ обозначимъ чрезъ u_0, а въ молекулахъ чрезъ u_1, u_2.., то величина тока $J = u_0 \ (S - q_1 - q_2 ....) + u_1 q_1 + u_2 q_2 + ...$ гдѣ q_1, q_2,... площади сѣ-

[1]) См. Электромагнитная теорія свѣта проф. П. А. Зилова, *Физ. Обозр.* т. II стр. 70.

ченій молекулъ. Если молекулы лежатъ настолько рѣдко, что сумма ихъ сѣченій мала въ сравненіи съ S, то средняя плотность тока въ средѣ: $u = u_0 + u_1 q_1/S + u_2 q_2/S\ldots$. Пусть далѣе въ данной средѣ существуетъ нѣсколько родовъ молекулъ, тогда $u = u_0 + \Sigma u_h Q_h/S$, гдѣ Q_h сумма сѣченій молекулъ типа h. При достаточно большихъ значеніяхъ S отношенія Q_h/S можно считать постоянными для данной среды и мы можемъ включить ихъ въ выраженія u_h. Итакъ

$$u = u_0 + \Sigma u_h. \tag{14}$$

Междумолекулярное пространство мы будемъ предполагать заполненнымъ эѳиромъ, а потому

$$u_0 = \frac{1}{4\pi c}\frac{dX}{dt}. \tag{15}$$

Вся задача, слѣдовательно, сводится къ опредѣленію плотности тока въ молекулахъ. Положимъ, что колебанія въ молекулахъ возбуждаются параллельно оси x, т. е. положимъ, что на поверхность данной среды падаетъ плоско-поляризованная волна, у которой колебанія совершаются параллельно оси x. Если въ молекулѣ токъ $= J$ и сопротивленіе $= R$, то произведеніе JR должно равняться алгебраической суммѣ электродвижущихъ силъ, дѣйствующихъ въ молекулѣ.

Эта сумма слагается во-первыхъ изъ разности потенціаловъ на противоположныхъ частяхъ молекулы, $V_1 - V_2$, во-вторыхъ изъ электродвижущей силы самоиндукціи, $-L\,dJ/dt$, гдѣ L коэффиціентъ самоиндукціи, и, наконецъ, изъ внѣшней силы пропорціональной силѣ X падающей волны:

$$JR = V_1 - V_2 - L\frac{dJ}{dt} + kX; \tag{16}$$

но токъ J пропорціоналенъ убыли потенціала въ единицу времени

$$J = -C\frac{d(V_1 - V_2)}{dt}, \tag{17}$$

гдѣ C емкость. Дифференцируемъ (16) по t и, подставляя вмѣсто $d(V_1 - V_2)/dt$ ея выраженіе изъ (17), имѣемъ:

$$\frac{J}{C} + R\frac{dJ}{dt} + L\frac{d^2J}{dt^2} = k\frac{dX}{dt}. \tag{18}$$

Умножая (18) на C, переходя отъ тока къ плотности тока и вводя сокращенныя обозначенія, получимъ

$$u_h + a\frac{du_h}{dt} + b_h\frac{d^2u_h}{dt^2} = \frac{\varepsilon_h}{4\pi c}\frac{dX}{dt}. \tag{19}$$

Коэффиціенту при dX/dt мы придали видъ: $\varepsilon_h/4\pi c$ (гдѣ c скорость свѣта) для упрощенія послѣдующихъ выраженій. Пусть на поверхность тѣла падаетъ волна

$$X = A\cos\frac{2\pi}{T}(t - p_0 z). \tag{19'}$$

Изъ анализа извѣстно, что $\cos x = (e^{ix} + e^{-ix})/2$, гдѣ $i = \sqrt{-1}$, а e основаніе неперовыхъ логариѳмовъ; такъ какъ вычисленія съ показательными функціями проще, то мы и будемъ вести съ ними дальнѣйшее изслѣдованіе и только въ окончательномъ рѣшеніи перейдемъ снова къ тригонометрическимъ функціямъ Итакъ положимъ

$$X = \frac{A}{2}e^{i(t-p_0z)/\tau}.$$

гдѣ $\tau = T/2\pi$. Чрезъ нѣкоторый промежутокъ времени электрическія колебанія въ молекулахъ установятся, и періодъ ихъ будетъ тотъ же, что и у возбуждающей ихъ силы X. Поэтому можно положить, что функція u_h имѣетъ такой же видъ, какъ X, а если такъ, то $du_h/dt = iu_h/\tau$ и $d^2u_h/dt^2 = -u_h/\tau^2$; подставляя эти величины въ (19), получимъ:

$$u_h\left\{1 + i\frac{a_h}{\tau} - \frac{b_h}{\tau^2}\right\} = \frac{\varepsilon_h}{4\pi c}\frac{dX}{dt},$$

а средняя плотность тока u (14) выразится:

$$u = \frac{1}{4\pi c}\frac{dX}{dt}\left\{1 + \Sigma\frac{\varepsilon_h}{1 + ia_h/\tau - b_h/\tau^2}\right\} = \frac{\varepsilon(\tau)}{4\pi c}\frac{dX}{dt}. \tag{20}$$

Изъ выраженія (20) слѣдуетъ, что въ средѣ, составленной изъ резонаторовъ, роль діэлектрической постоянной (равной квадрату показателя преломленія) играетъ сложное выраженіе $\varepsilon(\tau)$, за-

висящее отъ періода, и притомъ комплексное. Для уясненія физическаго смысла полученнаго комплекснаго рѣшенія, подставимъ въ (13) вмѣсто X ея выраженіе; тогда находимъ

$$\frac{\varepsilon(\tau)}{c^2}=p_0^2. \tag{21}$$

Такъ какъ $\varepsilon(\tau)$ величина комплексная, то и p_0 имѣетъ видъ $p-ip'$; подставляя это выраженіе въ X и переходя отъ показательныхъ функцій къ тригонометрическимъ, получимъ:

$$X=Ae^{-p'z/\tau}\cos\left(\frac{t-pz}{\tau}\right), \tag{22}$$

т. е. амплитуда убываетъ съ возростаніемъ z; другими словами, *среда поглощаетъ лучистую энергію.* Далѣе изъ (22) слѣдуетъ, что p есть обратная величина скорости распространенія волнъ въ данной средѣ, т. е. $p=n/c$ гдѣ n показатель преломленія. Уравненіе (21) въ раскрытомъ видѣ представится слѣдующимъ образомъ:

$$(n-i\varkappa)^2=1+\Sigma\frac{\varepsilon_h}{1+i\,a_h/\tau-b_h/\tau^2}, \tag{23}$$

гдѣ $\varkappa=p'c$ есть коэффиціентъ, характеризующій поглощеніе данной среды. Для нахожденія зависимости показателя преломленія отъ періода, надо въ (23) отдѣлить дѣйствительную часть отъ мнимой и изъ полученныхъ двухъ уравненій исключить $\varkappa$.

Разсмотримъ частный случай прозрачнаго тѣла, т. е. такого тѣла, для котораго $\varkappa$ мало. Выраженіе (23) приметъ въ этомъ случаѣ видъ:

$$n^2=1+\Sigma\frac{\varepsilon_h}{1-b_h/\tau^2} \tag{24}$$

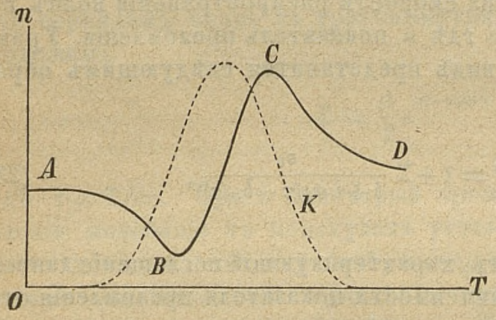
Такое упрощеніе возможно лишь для значеній τ, не удовлетворяющихъ уравненіямъ $\tau^2=b_h$, такъ какъ, хотя членъ ia_h/τ и малъ, мы все-таки не можемъ имъ пренебречь, разъ $1-b_h/\tau^2$ обращается въ нуль: въ этихъ областяхъ спектра $\varkappa$ очень велико, оно тѣмъ

больше, чѣмъ меньше a_h; т. е. чѣмъ тѣло прозрачнѣе въ областяхъ спектра, несоотвѣтствующихъ значеніямъ $\tau^2 = b_h$, тѣмъ оно сильнѣе поглощаетъ волны періодовъ τ, опредѣляемыхъ соотношеніями $\tau^2 = b_h$. Эти періоды соотвѣтствуютъ собственнымъ періодамъ резонаторовъ-молекулъ; обозначимъ ихъ чрезъ τ_h.

Изслѣдуемъ теперь ходъ показателя преломленія въ сосѣдствѣ съ полосою поглощенія, и положимъ, что тѣло имѣетъ только одну полосу поглощенія. По (24) имѣемъ

$$n^2 = 1 + \frac{\varepsilon_1}{1 - \tau_1{}^2/\tau^2}.$$

Если $\tau < \tau_1$, то $\tau_1{}^2/\tau^2$ можно положить $= 1 + \delta$ и тогда $n^2 = 1 - \varepsilon_1/\delta$.; если $\tau > \tau_2$, то $\tau_1{}^2/\tau^2 = 1 - \delta$ и $n^2 = 1 + \varepsilon_1/\delta$. Отсюда слѣдуетъ, что волны, періодъ которыхъ больше собственнаго періода молекулъ, имѣютъ вообще большій показатель преломленія, чѣмъ волны болѣе короткія: такъ, напримѣръ, если полоса поглощенія лежитъ въ зеленой части спектра (какъ у фуксина), то инфракрасные и красные лучи будутъ сильнѣе преломляться, чѣмъ синіе и фіолетовые. Въ каждой изъ областей $\tau < \tau_1$ и $\tau > \tau_1$ показатель преломленія убываетъ съ возростаніемъ періода; болѣе подробный анализъ уравненія (23) показываетъ, что кривая, изображающая ходъ показателя преломленія, непрерывна и въ области примыкающей къ τ_1: она имѣетъ видъ, изображенный на фиг. 9.



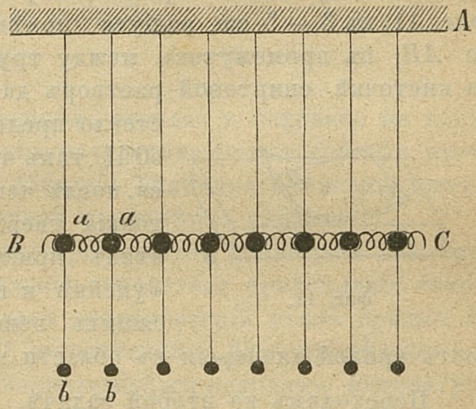
фиг. 9.

Если полосы поглощенія лежатъ въ ультрафіолетовой или инфракрасной частяхъ спектра, то въ видимой части кривая показателя преломленія будетъ имѣть видъ *AB* или *CD*; соотвѣтствующія тѣла называются тѣлами, обладающими „нормальною“ дисперсіей.

Слѣдовательно, различіе между тѣлами съ нормальною и аномальною дисперсіею заключается только въ томъ, что у тѣлъ нормальнаго типа всѣ полосы поглощенія и связанныя съ ними об-

ласти аномальной дисперсіи лежатъ въ невидимыхъ частяхъ спектра, у аномальныхъ же—въ видимой.

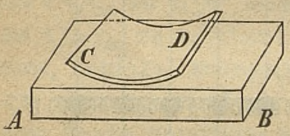
Вліяніе строенія среды на распространеніе волнъ, ясно выступающее въ опытахъ Гарбассо, еще нагляднѣе иллюстрируется въ опытѣ, сдѣланномъ по мысли Дж. Дж. Томсона. Къ неподвижной подставкѣ A (фиг. 10) прикрѣплены на ниткахъ свинцовые шарики a, вставленные въ обороты спирали BC изъ тонкой мѣдной проволоки. Къ каждому изъ шариковъ a прикрѣплено по маятнику b. Если одинъ конецъ спирали соединить съ метрономомъ, колеблющимся въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости чертежа, а другой конецъ закрѣпить неподвижно, то на спирали BC получится система стоячихъ волнъ. Измѣняя ходъ метронома, мы можемъ получить волны различной длины. Измѣривъ длины волнъ и опредѣливъ соотвѣтствующіе имъ періоды колебаній метронома, связаннаго со спиралью BC, можно найти скорости распространенія v волнъ различной длины. Изобразивъ графически зависимость величины $1/v$ (пропорціональной показателю преломленія) отъ періода колебаній, мы получимъ кривую аналогичную кривой дисперсіи вблизи полосы поглощенія; полоса поглощенія соотвѣтствуетъ періоду колебанія маятниковъ b. Когда метрономъ качается съ этимъ періодомъ, всѣ маятники b сильно раскачиваются, а спираль BC остается неподвижною: волны поглощаются средою.



фиг. 10.

Такимъ образомъ факты даютъ вѣскіе доводы въ пользу принятаго нами объясненія явленія дисперсіи. Однако, для окончательнаго подтвержденія теоріи необходимо еще обнаружить на опытѣ непрерывность кривой показателя преломленія въ полосѣ поглощенія и, наконецъ, количественно провѣрить теоретическую формулу (24). Главное затрудненіе при рѣшеніи первой изъ указанныхъ задачъ состоитъ въ томъ, что въ области поглощенія

свѣтъ настолько сильно поглощается, что—при сколько-нибудь значительныхъ преломляющихъ углахъ—призмы совершенно непрозрачны для поглощаемыхъ лучей; пользоваться же растворами нельзя, такъ какъ дисперсія раствора зависитъ какъ отъ раствореннаго тѣла, такъ и отъ растворителя. Единственный выходъ изъ затрудненія—приготовить призмы съ возможно малымъ преломляющимъ угломъ; эта задача была выполнена Пфлюгеромъ слѣдующимъ образомъ: кусокъ стеклянной трубки *CD* (фиг. 11) въ 3 — 5 cm. радіуса помѣщался на зеркальное стекло *AB*; въ промежутокъ между трубкой и стекломъ вводился на кисточкѣ спиртовой растворъ даннаго вещества. Трубка и стекло предварительно нагрѣвались до 60°Ц, такъ что спиртъ быстро испарялся, послѣ чего на *AB* получались очень тонкія твердыя призмы. При помощи этихъ призмъ Пфлюгеру удалось на фуксинѣ и цѣломъ рядѣ другихъ красящихъ веществъ показать непрерывность кривой дисперсіи въ области поглощенія.



фиг, 11.

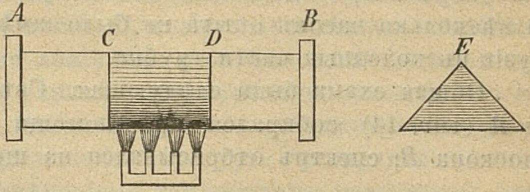
Переходимъ ко второй задачѣ, къ количественной провѣркѣ теоретическихъ формулъ. Для этой цѣли удобнѣе всего взять такое тѣло, которое имѣло бы возможно малое число полосъ поглощенія: тогда выраженіе (24) значительно упрощается; напримѣръ для паровъ натрія можно ограничиться однимъ членомъ:

$$n^2 = 1 + \frac{\varepsilon_1 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2}. \tag{25}$$

Строго говоря, надо было бы взять два члена, такъ какъ линія *D* двойная; но для частей спектра, не лежащихъ въ непосредственной близости *D*, можно съ большимъ приближеніемъ ограничиться однимъ членомъ, разумѣя подъ λ_1 среднее значеніе между λ_{D_1} и λ_{D_2}. Кромѣ того пары натрія даютъ еще полосы поглощенія въ ультрафіолетовой части; но ихъ вліяніе на ходъ дисперсіи въ видимой части ничтожно. Формула (25) была провѣрена проф. Вудомъ въ 1904 году.

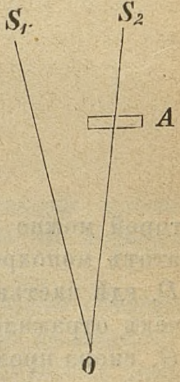
Первоначально Вудъ задался цѣлью получить призму изъ паровъ натрія. Онъ помѣщалъ въ цилиндрическую трубку *AB*

(фиг. 12), закрытую плоско-параллельными пластинками стекла, кусочки натрія, выкачивалъ изъ трубки воздухъ и нагрѣвалъ ее на газовыхъ горѣлкахъ. Пары натрія вслѣдствіе своей вязкости остаются только надъ нагрѣтыми мѣстами трубки и образуютъ цилиндръ *CD*; благодаря быстрому образованію паровъ надъ кусочками металла и осѣданію на верхней части трубки, нижніе слои всегда оказываются болѣе плотными, и потому оптическое дѣйствіе цилиндра *CD* эквивалентно дѣйствію призмы *E*, наполненной равномѣрно парами.



фиг. 12.

Такимъ способомъ можно превосходно наблюдать аномальный спектръ; но для опредѣленія показателя преломленія такой методъ непригоденъ, такъ какъ преломляющій уголъ призмы *E*, эквивалентной цилиндру *CD*, не извѣстенъ. Для опредѣленія показателя преломленія Вудъ воспользовался методомъ интерферометра. Основная мысль этого метода заключается въ слѣдующемъ. Если на пути одного изъ двухъ интерферирующихъ пучковъ S_1O и S_2O (фиг. 13) помѣстить пластинку *A* испытуемаго вещества, то полосы интерференціи въ *O* смѣстятся; тогда, если толщина пластинки $= e$, показатель преломленія для данныхъ лучей $= n$, а смѣщеніе равняется *k* полоскамъ (считая полоски и промежутки), то удлиненіе оптическаго пути $(n-1)\,e = k\,\lambda/2$. Отсюда, зная λ, и *e* и наблюдая *k*, мы можемъ опредѣлить *n*.

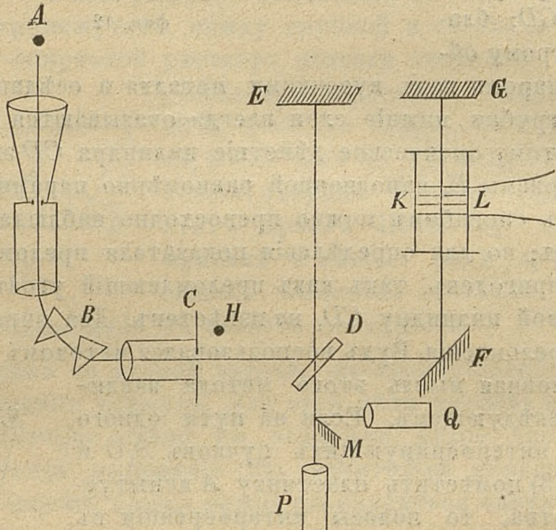


фиг. 13.

Слѣдовательно задача состоитъ въ полученіи двухъ пучковъ, способныхъ интерферировать, и слоя паровъ, толщину котораго можно было бы точно измѣрить. Послѣднее условіе оказалось легко выполнимымъ, благодаря вязкости паровъ натрія; на трубку надѣвалась катушка толстой проволоки, которая накаливалась сильнымъ электрическимъ токомъ; вслѣдствіе равномѣрнаго нагрѣванія пары натрія не осѣдали на верхней части трубки (какъ это было въ первыхъ опытахъ Вуда), отчего получался цилин-

дрическій слой паровъ равномѣрной плотности. За толщину слоя въ данномъ случаѣ надо принимать длину катушки, такъ какъ паръ натрія держится только у нагрѣтой части трубки; за нѣсколько часовъ опыта не было замѣчено даже слѣдовъ диффузіи въ холодныя части трубки.

Общая схема была слѣдующая. Свѣтъ отъ вольтовой дуги *A* (фиг. 14) собирался при помощи линзы на щель спектроскопа *B*; спектръ отбрасывался на щель *C*, при помощи ко-



фиг. 14.

торой можно было выдѣлять свѣтъ любой длины волны; далѣе этотъ монохроматическій пучекъ падалъ на зеркальное стекло *D*, гдѣ частью отражался, а частью проходилъ. Прошедшій пучекъ отражался въ *F*, проходилъ слой паровъ *KL*, отражался у *G*, снова проходилъ слой паровъ и, отразившись отъ *F* и *D*, попадалъ въ зрительную трубу *P*. Отраженный пучекъ отражался въ *E*, проходилъ чрезъ пластинку *D* и попадалъ въ трубу *P*. Оба эти пучка давали въ полѣ зрѣнія трубы полосы интерференціи. Рядомъ съ щелью *C* находилась гейслерова трубка съ геліемъ, *H*; зеркало *M* и трубу *H* можно установить такъ, что интерференціонныя полосы отъ свѣта гелія будутъ видны въ трубу *Q* и въ то же время не будутъ попадать въ поле зрѣнія трубы *P*. Когда, по мѣрѣ нагрѣванія цилиндра *KL*, въ немъ начинали образо-

ваться пары натрія, обѣ системы полосъ въ P и Q смѣщались; отношеніе этихъ смѣщеній представляетъ показатель преломленія даннаго монохроматическаго свѣта (выдѣленнаго щелью C), взятый по отношенію къ линіи D_3 гелія. Абсолютныя опредѣленія дѣлались только для линіи D_3, и на основаніи этихъ опредѣленій по найденнымъ раньше относительнымъ величинамъ вычислялись абсолютныя. Въ цилиндрѣ съ парами натрія находился термоэлементъ для опредѣленія температуры; эти опредѣленія очень важны, такъ какъ съ измѣненіемъ температуры измѣняется плотность паровъ, а вмѣстѣ съ этимъ и показатель преломленія; поэтому при перечисленіи относительныхъ показателей на абсолютные, надо брать данныя, полученныя при одной и той же температурѣ. Результаты изслѣдованій сведены въ слѣдующую таблицу.

λ	n (наблюд.)	n (вычисл.)
620 μμ	1·000291	1·000285
605·5	1·000523	1·000520
587·5	0·995410	0·995800
586·7	0·996929	0·996920
585·0	0·998172	0·998150
530·0	0·999887	0·999885
450·0	0·999950	0·999965
327·0	0·999976	0·999987
226·0	0·999987	0·999995

Какъ видно изъ приведенной таблицы совпаденіе наблюденныхъ величинъ съ величинами, вычисленными по формулѣ (25), вполнѣ удовлетворительно.

Опредѣленіе полосъ поглощенія, въ видимой части спектра, какъ у натрія, не представляетъ затрудненій. Однако, въ большинствѣ случаевъ эти полосы лежатъ въ невидимыхъ областяхъ спектра. Въ настоящее время для нахожденія λ_h выработаны особые методы: въ ультрафіолетовой части спектра обыкновенно пользуются фотографическимъ способомъ, въ инфракрасной части λ_h опредѣляются методомъ Рубенса. Основная мысль этого метода заключается въ слѣдующемъ [1]).

---

[1]) О методѣ Рубенса см. *Физ. Обозр.* т. 1 (1900) стр. 265.

Въ областяхъ, примыкающихъ къ λ_h, какъ мы уже видѣли при обсужденіи выраженія (24), коэффиціентъ $\varkappa$, характеризующій поглощеніе, очень великъ. Теорія, подтверждаемая опытомъ, показываетъ, что вмѣстѣ съ увеличеніемъ $\varkappa$ увеличивается и коэффиціентъ отраженія; поэтому, заставляя пучекъ свѣта отражаться нѣсколько разъ на своемъ пути, мы можемъ получить однородный пучекъ, соотвѣтствующій длинѣ волны λ_h, опредѣляемой съ помощью диффракціонной рѣшетки и термоэлемента. Этими пріемами были найдены величины λ_h для цѣлаго ряда тѣлъ и вычисленные на основаніи этихъ величинъ показатели преломленія для различныхъ областей спектра совпали—въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій—съ величинами, полученными изъ опыта.

Такъ какъ во многихъ тѣлахъ полосы поглощенія, лежатъ далеко за предѣлами видимаго спектра, то методъ Рубенса даетъ средство выдѣлять длинныя инфракрасныя волны; такъ при помощи зеркалъ изъ плавиковаго шпата можно получить волны въ 24·4μ. Для такихъ длинныхъ волнъ уже можно построить систему резонаторовъ, аналогичныхъ тѣмъ, изъ которыхъ Гарбассо дѣлалъ свои призмы: на стеклянныя пластинки наносится слой серебра, который при помощи дѣлительной машины разрѣзается на прямоугольники *ab*. Если на среду, составленную изъ резонаторовъ, падаютъ волны, способныя возбуждать въ нихъ колебанія, то, какъ показываетъ теорія, волны сильно отражаются съ поверхности этой среды. Эта теорія была подтверждена опытами того же Гарбассо съ электромагнитными волнами въ 6—7 cm. длины. Рубенсъ повторилъ тѣ же опыты, но съ „остаточными лучами“ плавиковаго шпата въ 24·4μ. длины.

Результаты его опытовъ сведены въ слѣдующей таблицѣ.

	I	II	III	IV	V
a	∞	6·5	12·4	18·0	24 μ
b	5·8	4·6	5·3	5·1	5·5
‖ *b*	40·8	38·3	42·7	40·7	36·1
‖ *a*	83·7	41·8	65·8	49·5	62·5

Въ первой строкѣ стоятъ нумера пластинокъ, во второй и третьей—длина (a) и ширина (b) каждаго изъ прямоугольниковъ, на которые разрѣзанъ серебрянный слой, въ четвертой и пятой строкахъ—количество отраженной энергіи, которая опредѣляется термоэлементомъ и выраженна въ $^0/_0$ всей падающей энергіи; при этомъ пластинки помѣщались въ двухъ положеніяхъ относительно падающаго луча (пучекъ свѣта былъ предварительно поляризованъ): направленіе колебаній въ падающей волнѣ совпадало со стороною b (четвертая строка) или со стороною a (пятая строка). Какъ видно изъ таблицы, всѣ величины въ четвертой строкѣ мало разнятся другъ отъ друга, мало разнятся отъ нихъ и величины во II и IV столбцахъ пятой строки: во всѣхъ этихъ случаяхъ колебанія съ длиною волны въ 24μ не могутъ образоваться. Въ остальныхъ опытахъ размѣры a какъ разъ удовлетворяютъ требованію резонанса; отраженіе въ этихъ случаяхъ, какъ показываетъ таблица, гораздо сильнѣе.

Такимъ образомъ эти опыты на ряду съ опытами Гарбассо подтверждаютъ лежащій въ основѣ ученія о дисперсіи принципъ молекулярныхъ электрическихъ колебаній; но кромѣ того опыты Рубенса имѣютъ еще и болѣе общее значеніе; въ нихъ въ первый разъ были приложены къ изученію оптическихъ явленій тѣ же пріемы, которые примѣнялись раньше лишь къ волнамъ Герца: вибраторъ въ схемѣ Герца замѣняла горѣлка Ауэра. Ни въ одномъ опытѣ еще не выступало съ такою ясностью тождество электромагнитныхъ и свѣтовыхъ волнъ, предсказанное Максвеллемъ и представляющее одно изъ величайшихъ обобщеній физики девятнадцатаго вѣка.

Москва. Январь, 1905.

Эманація

П. А. Зилова

1. Радіоактивныя вещества выдѣляютъ изъ себя особый газъ, который называется *эманаціею*; до сихъ поръ удавалось добыть только минимальныя количества этого газа (изъ одного

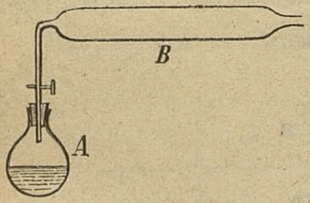
грамма чистаго бромистаго радія добывается не болѣе 1/100 mgr. эманаціи; имѣя такое количество обыкновеннаго газа, было бы трудно его изслѣдовать или даже доказать его существованіе; но эманація обладаетъ радіоактивностью: она вызываетъ флуоресценціею (многія тѣла, какъ сѣрнистый цинкъ, виллемитъ, погруженныя въ эманацію, ярко свѣтятся), она іонизируетъ воздухъ и т. д.; пользуясь этими свойствами, можно нетолько открыть вещество съ минимальною массою, но можно изучить всѣ его свойства.

2. Эманація окклюдируется радіемъ и трудно отъ него отдѣляется. Для этого радій надо или нагрѣть или растворить въ водѣ.

При раствореніи бромистаго радія въ чистой водѣ, послѣдняя медленно разлагается; такъ что изъ раствора 70 mgr. $Ra\,Br_2$ можно еженедѣльно получать отъ 8 до 10 c. cm. взрывчатой смѣси кислорода и водорода съ избыткомъ послѣдняго.

Въ этой смѣси находится и эманація. Сначала осушаютъ эту смѣсь газовъ, пропуская ее чрезъ сушило съ ангидридомъ фосфорной кислоты; затѣмъ ее вводятъ въ эвдіометръ, гдѣ сжигаютъ гремучій газъ; послѣ этого остается смѣсь эманаціи съ водородомъ, которую охлаждаютъ до температуры жидкаго воздуха; при откачиваніи водорода въ сосудѣ остается одна эманація, которая при этой температурѣ находится въ жидкомъ состояніи и нелетуча.

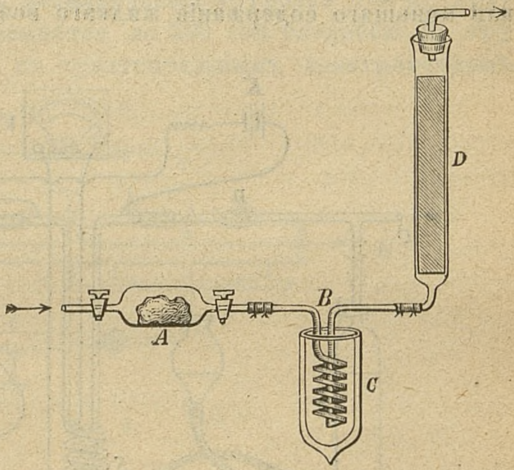
3. Простымъ опытомъ можно обнаружить газообразное состояніе эманаціи. Если колбочку *A* (фиг. 1) съ эманаціею соединить съ трубкою *B*, внутреннія стѣнки коей покрыты сѣрнистымъ цинкомъ (стѣнки смазываютъ растворомъ желатины, а затѣмъ чрезъ трубку продуваютъ мелкій порошокъ сѣрнистаго цинка), то трубка постепенно, начиная съ лѣваго конца, приходитъ въ свѣченіе: эманація диффундируетъ и распространяется въ воздухѣ.



фиг. 1.

4. Слѣдующимъ лекціоннымъ опытомъ можно показать сжиженіе эманаціи. Стеклянный резервуаръ *A* (фиг. 2) соединенъ со спиралью *B* и широкою стеклянною трубкою *D*, въ которой помѣщается полоска слюды, покрытая сѣрнистымъ цинкомъ.

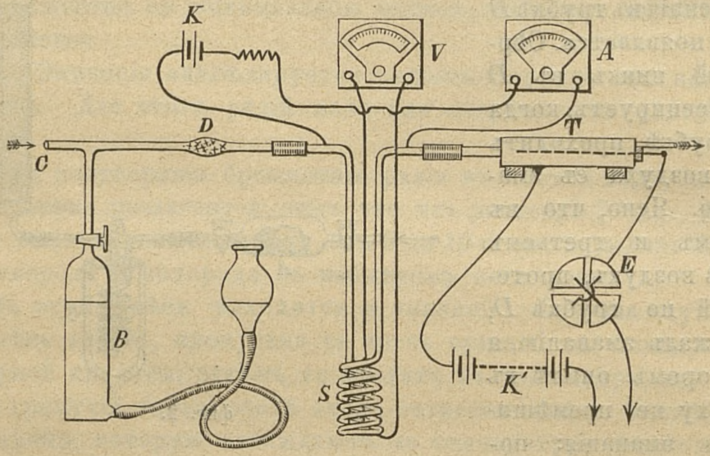
Сосудъ *A* наполненъ эманаціею и содержитъ нѣсколько кусковъ виллемита. Если слегка продувать воздухъ чрезъ приборъ, то сѣрнистый цинкъ въ трубкѣ *D* ярко флуоресцируетъ; если же спираль *B* погружать въ дюаровскій стаканъ *C* съ жидкимъ воздухомъ, сѣрнистый цинкъ въ трубкѣ *D* не флуоресцируетъ. Если затѣмъ дюаровскій стаканъ удалить, то флуоресценція въ трубкѣ *D* вновь появляется. Сѣрнистый цинкъ въ *D* флуоресцируетъ, когда по трубкѣ проходитъ токъ воздуха съ эманаціею. Ясно, что въ первомъ и третьемъ опытѣ воздухъ, протекавшій по трубкѣ *D*, содержалъ эманацію, а во второмъ опытѣ къ воздуху не премѣшивалась эманація: послѣдняя, охлаждаясь въ спиралѣ *B* до температуры жидкаго воздуха, переставала быть летучею; она здѣсь сжижалась.



фиг. 2.

5. Обратимся теперь къ опредѣленію температуры сжиженія эманаціи. Приборъ состоялъ изъ соединенныхъ послѣдовательно стеклянной трубки *CD* (фиг. 3), мѣднаго змѣевика *S* и изолированной отъ нея мѣдной трубки *T*. Трубка *CD* соединялась съ резервуаромъ *B*, содержащимъ эманацію. Спираль *S* соединялась въ одну цѣпь съ батареею *K* и амперметромъ *A*; начало и конецъ этой спирали соединялись съ вольтметромъ *V*. Трубка *T* заряжалась (вслѣдствіе соединенія съ однимъ полюсомъ батареи *K'*, другой полюсъ которой былъ отведенъ къ землѣ); проволока, помѣщенная по оси трубки и отъ нея изолированная, сообщалась съ электрометромъ *E*; когда по трубкѣ проходитъ газъ, смѣшанный съ эманаціею, то потенціалъ проволоки измѣняется и стрѣлка электрометра отклоняется. Змѣевикъ *S* былъ погруженъ въ смѣсь жидкаго этилена и жидкаго воздуха. По сопротивленію этого змѣевика оцѣнивали его температуру; для чего предварительно опредѣляли сопротивленіе его при 0°, при температурахъ кипѣнія (—103·5°) и замерзанія (—165°)

жидкаго этилена, а также жидкаго воздуха. Сопротивленіе змѣевика, вычисленное изъ отсчета на вольтметрѣ *V*, когда по немъ проходилъ постоянный токъ, приблизительно пропорціонально абсолютной температурѣ. Смѣсь этилена и воздуха постоянно перемѣшивалась; температура ея зависѣла отъ большаго или меньшаго содержанія жидкаго воздуха.



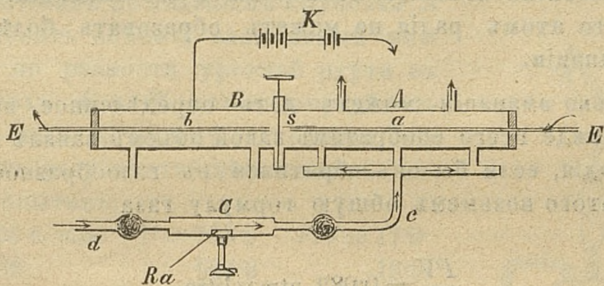
фиг. 3.

Опытъ состоялъ въ томъ, что изъ резервуара *B* эманація пропускалась въ змѣевикъ *S*, постепенно охлаждаемый ниже температуры ея сжиженія; здѣсь эманація сжижалась. Затѣмъ чрезъ приборъ пропускали токъ водорода. Температуру спирали постепенно повышали и отсчитывали ее въ тотъ моментъ, когда отклоненіе стрѣлки электрометра *E* указывало на присутствіе эманаціи въ трубкѣ *T*; тогда эманація въ *S* начинала улетучиваться и увлекаться токомъ газа въ трубку *T*. Такимъ образомъ было найдено, что температура сжиженія эманаціи радія около -150°Ц., а эманаціи торія -120°Ц. Отсюда ясно, что эманація радія существенно отличается отъ эманаціи торія.

6. *Молекулярный вѣсъ.* Наблюдая диффузію эманаціи въ воздухъ, Рутерфордъ и г-жа Бруксъ опредѣлили молекулярный вѣсъ эманаціи радія. Извѣстно, что коэффиціентъ диффузіи одного газа въ другой приблизительно обратно-пропорціоналенъ квадратному корню изъ ихъ молекулярныхъ вѣсовъ. Такимъ об-

разомъ если опредѣлить скорость диффузіи эманаціи радія въ воздухъ, то можно вычислить и ея молекулярный вѣсъ.

Приборъ Рутерфорда и г-жи Бруксъ состоялъ изъ длинной металлической трубки AB (фиг. 4), раздѣленной металлическою перегородкою s; концы трубки закрыты эбонитовыми пробками, чрезъ которыя проходятъ металлическія трубочки a и b. Трубка AB изолирована и заряжается до 300 volt батареею K; трубочки a и b соединялись съ чувствительнымъ электрометромъ.



фиг. 4.

Для доставленія достаточнаго количества эманаціи въ трубку A, радій, находящійся въ C, слегка нагрѣвался и чрезъ трубку de пропускался слабый токъ воздуха. Когда получалось достаточное количество эманаціи, теченіе воздуха прекращалось и приборъ оставлялся въ покоѣ на нѣсколько часовъ. Затѣмъ перегородка s осторожно вынималась, и начиналась диффузія эманаціи изъ A въ B. Сначала между B и b не было электрическаго тока; но съ началомъ диффузіи, тутъ возникалъ токъ, который постепенно возросталъ, тогда какъ между A и a токъ убывалъ. Эти токи, измѣряемые чрезъ равные промежутки времени, опредѣляютъ количество эманаціи въ той и въ другой половинѣ трубки AB. Изъ отношенія количествъ эманаціи въ обѣихъ половинахъ трубки можно вычислить коэффиціентъ диффузіи k по слѣдующей формулѣ

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} = \frac{8}{\pi^2}\left(e^{-\pi^2 kt/a^2} + \frac{1}{9}e^{-4\pi^2 kt/a^2} + \dots\right),$$

гдѣ a длина цилиндра, S_1 и S_2 массы эманаціи въ цилиндрахъ A и B послѣ t секундъ диффундированія. Такимъ образомъ было

найдено, что k лежитъ между 0·08 и 0·15, такъ что молекулярный вѣсъ эманаціи заключается между предѣлами 40 и 100. Этотъ результатъ показываетъ, что эманація не есть паръ радія, ибо по опытамъ Кюри атомный вѣсъ послѣдняго равенъ 225. Такъ какъ эманація не вступаетъ ни въ какія соединенія, то это газъ, принадлежащій по всей вѣроятности къ аргонной группѣ благородныхъ газовъ. Если такъ, то частица эманаціи одноатомна, и ея атомный вѣсъ вдвое больше ея плотности.

Сопоставляя атомные вѣса радія и его эманаціи, слѣдуетъ думать, что атомъ радія не можетъ образовать болѣе одного атома эманаціи.

Сколько эманаціи можетъ дать опредѣленное количество радія? Прежде всего сообразимъ какой объемъ занялъ бы одинъ граммъ радія, если бы онъ обратился въ газообразное состояніе. Для этого возьмемъ общую формулу газа

$$\frac{PV}{nU} = 0{\cdot}082 \text{ atm} \times \text{litre}$$

Для одного грамма радія $n = 1/255$; слѣдовательно при $P = 1^{\text{atm}}$ и $U = 273^{\circ}$ имѣемъ

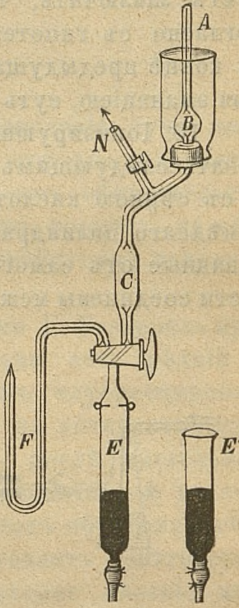
$$V = \frac{0{\cdot}082.273}{255} \text{ litre} = 100 \text{ c. cm.}$$

Опыты, показали, что въ теченіе секунды одинъ граммъ радія выдѣляетъ 3.10^{-9} с. cm эманаціи; если атомъ радія образуетъ одинъ лишь атомъ эманаціи, то въ теченіе секунды только 3.10^{-11} части радія испытываетъ превращеніе, въ теченіе года $9{\cdot}5.10^{-4}$, т. е. одна тысячная часть. Поэтому средняя продолжительность существованія радія есть тысяча лѣтъ.

7. *Сжимаемость.* Для измѣренія объема эманаціи Рамзай и Содди пользовались слѣдующимъ приборомъ. Смѣсь эманаціи съ водородомъ и кислородомъ вводилась въ резервуаръ E (фиг. 5), гдѣ подвергалась дѣйствію электрической искры; здѣсь на поверхности ртути плавалъ кусочекъ ѣдкаго натра, который поглощалъ углекислоту; въ трубкѣ C былъ фосфорный ангидридъ; B небольшой резервуаръ, который снаружи можно охлаждать жидкимъ воздухомъ, A—термометрическая трубочка, верхній ко-

нецъ коей запаянъ; когда смѣсь водорода и эманаціи попадаетъ въ *C*, послѣднюю охлаждаютъ жидкимъ воздухомъ; эманація сжижается, а водородъ откачивается насосомъ. Затѣмъ поднимаютъ резервуаръ *E'*, такъ чтобы ртуть изъ лѣваго резервуара поднялась выше трубки, идущей къ насосу и перегнала эманацію въ резервуаръ *B*. Здѣсь эманація нагрѣвается и улетучивается; ртуть поднимаютъ выше и она заставляетъ эманацію перейти въ трубочку *A*. Изъ отсчетовъ по дѣленіямъ трубочки *A* можно оцѣнить объемъ, занимаемый эманаціею, а по разности уровней ртути въ резервуарахъ *E* и *E'* можно опредѣлить давленіе, подъ которымъ находится эманація. Вотъ результатъ нѣскольких подобныхъ опытовъ:

$V = 0·0228$ c. mm.	$P = 765·8$	$P.V = 17·5$
0·0288	644·8	18·6
0·0372	518·1	19·3
0·0562	333·4	18·4
0 0612	309·2	18·9
0·166	182·4	21·6
0·372	55·3	20·6



фиг. 5.

Изъ этихъ опытовъ мы приходимъ къ заключенію, что эманація, какъ всякій другой газъ, подчиняется закону Бойля.

8. Если эманацію держать подъ постояннымъ давленіемъ, то ея объемъ постепенно уменьшается. Вотъ результаты одного наблюденія:

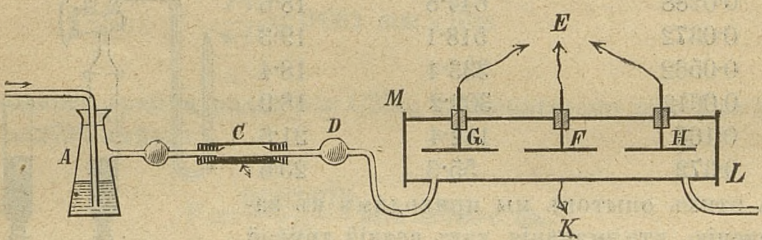
чрезъ 1 сутки — объемъ =	0·027 c. mm.
„ 3 сут.	0 011
„ 6 сут.	0·0063
„ 9 сут.	0·0041
оконч. объемъ	0·0004

Рутерфордъ объясняетъ это странное свойство эманаціи тѣмъ, что ея атомы выбрасываютъ изъ себя α-частицы, которыя, благодаря своимъ громаднымъ скоростямъ, врываются въ стеклянныя стѣнки сосуда и тамъ остаются.

9. Если эманаціею наполнить гейслеровскую трубку, и чрезъ нее пропускать токи индуктора, то сначала получается

спектръ, отличный отъ всѣхъ извѣстныхъ спектровъ, но въ общихъ чертахъ сходный со спектрами инертныхъ газовъ. Нѣсколько дней спустя, этотъ спектръ исчезаетъ и замѣняется спектромъ гелія: желтая линія, обозначаемая теперь D_3, впервые замѣченная Локьеромъ въ солнечномъ спектрѣ и затѣмъ видѣнная въ спектрѣ земного гелія, отчетливо наблюдается; отсюда слѣдуетъ заключить, что эманація радія превращается въ гелій. Согласно съ гипотезою Рутерфорда, о которой было упомянуто въ концѣ предыдущаго §, слѣдуетъ, что α-частицы, выбрасываемыя эманаціею, суть атомы гелія.

10. Іонизирующее дѣйствіе эманаціи торія можно демонстрировать слѣдующимъ образомъ. Приборъ состоитъ изъ сосуда *A* съ сѣрною кислотою, трубки *C*, содержащей соединеніе торія, и мѣднаго цилиндра *ML*, по оси котораго расположены изолированные отъ самого цилиндра проводники *G*, *F* и *H*; всѣ эти части соединены между собою стеклянными трубочками; цилиндръ



фиг. 6.

ML заряженъ; проводники *E*, *F* и *H* можно соединять съ электрометромъ или отводить къ землѣ. Если чрезъ приборъ пропускать токъ воздуха, который осушается въ *A* и увлекаетъ съ собою эманацію изъ *C*, то воздухъ въ *ML* становится проводящимъ, и электрометръ, соединенный съ однимъ изъ осевыхъ проводниковъ *E*, *F* или *H*, заряжается.

Радіоактивность эманаціи не постоянна, она уменьшается съ теченіемъ времени по показательному закону.

Лучи радіоактивныхъ тѣлъ

В. Марквальда [1]

Урановые лучи. Извѣстно, что рёнтгеновскіе лучи выходятъ изъ того мѣста круксовской трубки, которое флуоресцируетъ подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей; это обстоятельство дало поводъ нѣкоторымъ физикамъ поставить вопросъ, не обладаютъ-ли фосфоресцирующія тѣла вообще свойствомъ испускать рёнтгеновскіе лучи.

Руководимый подобными соображеніями Г. Беккерель предпринялъ опыты съ урановыми солями. Уранъ есть рѣдкій металлъ, соли котораго обладаютъ свойствомъ флуоресцировать. Такую урановую соль Беккерель положилъ на фотографическую пластинку, завернутую въ черную бумагу; послѣ нѣсколькихъ часовъ пластинка была проявлена и оказалась черною въ томъ мѣстѣ, гдѣ лежала соль. Сначала этотъ опытъ объясняли тѣмъ, что фосфоресцирующая урановая соль испускаетъ рёнтгеновскіе лучи. Но скоро оказалось, что разсматриваемое явленіе ничего общаго съ фосфоресценціею не имѣетъ. Во-первыхъ на фотографическую пластинку оказываютъ дѣйствіе не только фосфоресцирующія урановыя соли, но окись урана и металлическій уранъ, которые не фосфоресцируютъ; они дѣйствуютъ даже скорѣе. Во-вторыхъ многія тѣла, фосфоресцирующія сильнѣе урановыхъ солей, были также изслѣдованы, но оказались не дѣйствующими на фотографическую пластинку.

Беккерелевскіе лучи. Въ виду всего этого пришлось принять, что источникъ наблюдаемыхъ явленій заключается въ самомъ уранѣ и что этотъ элементъ и всѣ его соединенія обладаютъ свойствомъ непрерывно испускать энергію въ видѣ лучей, въ

---

[1]) Переводъ одной главы изъ книжки „Sichtbare und unsichtbare Strahlen" von Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald (Lpz. 1905).

извѣстномъ отношеніи схожихъ съ рёнтгеновскими. Эти лучи были названы *беккерелевскими лучами.*

Лучеиспусканіе урана очень слабо; повидимому лучеиспусканіе его солей зависитъ лишь отъ содержанія въ нихъ урана. Для полученія отчетливаго фотографическаго дѣйствія экспозицію надо продолжать въ теченіе цѣлыхъ дней.

Беккерелевскіе лучи скорѣе и вѣрнѣе обнаруживаются инымъ путемъ. Ультрафіолетовые, рёнтгеновскіе и катодные лучи обладаютъ свойствомъ сообщать пронизываемому воздуху— этому лучшему изъ изоляторовъ—бо́льшую или меньшую электропроводность. Такимъ же свойствомъ обладаютъ и лучи, испускаемые ураномъ, и потому эти лучи обнаруживаются электроскопомъ. Если электроскопъ заряженъ, то его листочки лишь медленно сходятся; воздухъ не совершенный изоляторъ, но всегда обладаетъ хотя и крайне слабою электропроводимостью; вслѣдствіе этого электричество, сообщенное электроскопу, медленно проводится воздухомъ въ землю. Если же къ заряженному электроскопу приблизить отведенную къ землѣ соль урана, то онъ разряжается гораздо быстрѣе прежняго; это происходитъ оттого, что испускаемые ураномъ беккерелевскіе лучи, пронизывая воздухъ (или другіе газы), обращаютъ ихъ въ проводники электрическаго тока.

Послѣ того, какъ было открыто лучеиспусканіе давно извѣстнаго тѣла—урана, явился вопросъ, нѣтъ-ли еще „радіоактивныхъ" тѣлъ. Всѣ элементы были испытаны какъ фотографическимъ, такъ и электроскопическимъ способомъ. Нашлось одно тѣло, которое подобно урану въ этомъ отношенію, именно торій. Извѣстно, что окись этого металла составляетъ главную часть ауэровскаго „чулка". Если такой чулокъ приблизить къ заряженному электроскопу или положить на фотографическую пластинку, то убѣдимся, что онъ дѣйствуетъ, какъ уранъ.

Открытіе Беккереля дало поводъ къ еще болѣе интересному открытію. Въ лабораторіи этого физика работали супруги Кюри, занимавшіеся изслѣдованіемъ радіоактивности урановыхъ рудъ; при этомъ они неожиданно открыли, что многія изъ этихъ рудъ гораздо активнѣе (въ пять и шесть разъ), чѣмъ самъ уранъ. Особенно активною оказалась добываемая въ Іоахимсталѣ смоляная руда, изъ которой выработываютъ урановыя соединенія. Изъ своего открытія супруги Кюри вывели заключеніе, что въ этой рудѣ заключается еще какое-то вещество, гораздо болѣе

радіоактивное, чѣмъ уранъ. Вслѣдствіе этого они предприняли обстоятельный химическій анализъ іохимстальской смоляной руды, раздѣлили заключающія въ ней различныя вещества и каждое изъ нихъ изслѣдовали электроскопомъ; при этомъ оказалось, что извлеченный изъ этой руды висмутъ (содержащійся тамъ лишь въ количествѣ 0·3%) приблизительно въ 100 разъ активнѣе урана.

Полоній, радій и радіотеллуръ. Такъ какъ висмутъ вообще неактивенъ, то Кюри предположили, что въ этомъ случаѣ активность обусловливается неизвѣстнымъ элементомъ, еще гораздо сильнѣе дѣйствующимъ, который не удавалось химическими способами отдѣлить отъ висмута; этому элементу они дали названіе *полонія.* Это отрытіе очень скоро потеряло всякій интересъ: во-первыхъ потому, что полоній теряетъ свою активность чрезъ нѣсколько мѣсяцевъ послѣ своего извлеченія изъ руды; во-вторыхъ еще и потому, что въ смоляной рудѣ Кюри нашли второе радіоактивное вещество, встрѣчающееся тамъ въ значительно меньшемъ количествѣ, чѣмъ висмутъ, но по напряженію лучеиспусканія равняющееся ему; это лучеиспусканіе происходятъ непрерывно безъ замѣтнаго ослабленія. Это вещество, помимо способности испускать лучи, вполнѣ сходно съ хорошо извѣстнымъ баріемъ, извлекаемымъ изъ тяжелаго шпата и другихъ рудъ. Но тогда какъ обыкновенныя соли барія не обнаруживаютъ и слѣдовъ радіоактивности, барій, извлеченный изъ смоляной руды, замѣтно дѣйствуетъ на фотографическую пластинку и въ нѣсколько секундъ разряжаетъ электроскопъ.

При большомъ сходствѣ этого вещества съ баріемъ можно было думать, что оно состоитъ главнымъ образомъ изъ обыкновеннаго барія и изъ незначительнаго количества близкаго ему по химическимъ свойствамъ неизвѣстнаго вещества. И дѣйствительно г-жѣ Кюри удалось раздѣлить эти вещества; рядомъ съ обыкновенною неактивною солью барія она получила совершенно сходную соль, активность коей въ милліонъ разъ превосходила активность урана. Этотъ новый элементъ она назвала *радіемъ.*

Полученіе радія изъ смоляной руды очень затруднительно. По вѣсу радій составляетъ лишь десятимилліонную часть руды; слѣдовательно надо переработать 1000 kgr. руды, чтобы получить 0·1 gr. радія; къ этому надо прибавить, что отдѣленіе соли радія отъ соли барія (которой бываетъ въ тысячи разъ

больше) чрезвычайно затруднительно: надо всю соль растворить и затѣмъ сотни разъ кристаллизировать, чтобы получить ничтожное количество радія.

Если въ химическомъ отношеніи радій вполнѣ сходенъ съ баріемъ, то въ физическомъ онъ отъ него отличается не одною только радіоактивностью. Нѣкоторыя его соли растворяются труднѣе, чѣмъ соотвѣтственныя соли барія. Еще важнѣе, что радій, введенный въ несвѣтящее пламя, окрашиваетъ его въ красный цвѣтъ, тогда какъ барій окрашиваетъ его въ зеленый цвѣтъ.

Металлическій радій до сихъ поръ еще не полученъ; мы знаемъ только соли радія. Впрочемъ это не потому, чтобы мы не знали средствъ для его полученія; но дороговизна матеріала препятствовала отдѣленію металла, который по аналогіи съ баріемъ, вѣроятно, очень неустойчивъ на воздухѣ; барій, какъ извѣстно, быстро соединяется съ кислородомъ воздуха, и потому сохраняется только въ петролѣ. Въ настоящее время миллиграмъ соли радія стоитъ около 30 марокъ.

При переработкѣ большого количества смоляной руды, необходимаго для полученія нѣсколькихъ граммовъ радія, въ ней были найдены еще другія вещества (хотя въ еще меньшемъ количествѣ, чѣмъ радій), также обладающія радіоактивностью; такъ между прочимъ найденъ былъ радіоактивный свинецъ, далѣе вещества, которыя названы *актиніемъ* и *эманіемъ*; объ этихъ послѣднихъ мы еще скажемъ ниже; но относительно всѣхъ этихъ тѣлъ нельзя съ полною увѣренностью утверждать, чтобы они представляли собою дѣйствительно радіоактивные элементы; если къ веществу примѣшано неуловимое (химическимъ анализомъ) количество радія, то этого достаточно для сообщенія ему значительной активности. Кромѣ того существуютъ тѣла съ наведенною активностью, которыя, будучи въ соприкосновеніи съ радіемъ, пріобрѣтаютъ преходящую активность.

Только одно радіоактивное тѣло достойно упоминанія рядомъ съ радіемъ, это *радіотеллуръ*. Выше мы упоминали о полоніѣ или радіоактивномъ висмутѣ. Въ этомъ висмутѣ былъ найденъ въ чрезвычайно маломъ количествѣ очень рѣдкій элементъ—теллуръ, а къ нему примѣшано химически подобное вещество съ чрезвычайно сильною активностью. Съ помощью надлежащихъ химическихъ реакцій удалось это радіоактивное вещество отдѣлить отъ теллура; его и назвали радіотеллуромъ.

Существуетъ-ли кромѣ того радіоактивный висмутъ (полоній), это пока не выяснено. Въ смоляной рудѣ радіотеллуръ содержится въ гораздо меньшемъ количествѣ, чѣмъ радій, не болѣе одной тысячимилліонной части. Слѣдовательно тонна руды содержитъ не болѣе 0·001 gr. радіотеллура. Но тѣмъ сильнѣе активность этого вещества. Впрочемъ активность радіотеллура и радія нельзя непосредственно сравнивать: лучи, испускаемые радіемъ, гораздо сложнѣе лучей, испускаемыхъ радіотеллуромъ.

Альфа-, бета- и гамма- лучи. Оказывается, что радій испускаетъ не только, какъ это сначала думали, рёнтгеновскіе лучи, но три совершенно различнаго рода лучей, которые называются α-, β- и γ-лучами. Первые изъ нихъ, т. е. α-лучи очень мало проникаютъ и задерживаются уже листомъ бумаги и даже газами, напримѣръ воздухомъ, сильно поглощаются; они проходятъ только чрезъ очень тонкіе слои твердыхъ и жидкихъ тѣлъ; такъ напримѣръ чрезъ листочекъ алюминія въ 1/100 mm. они проходятъ, сильно ослабляясь. Лучи второго сорта, β-лучи сильнѣе проникаютъ; они, почти не ослабляясь, пронизываютъ картонъ, тонкія деревянныя дощечки, алюминій; но они задерживаются болѣе плотными тѣлами, какъ желѣзо, свинецъ, благородные металлы; если въ этомъ отношеніи β-лучи уподобляются рёнтгеновскимъ лучамъ, то отличаются по своему отношенію къ магниту: подобно катоднымъ лучамъ β-лучи отклоняются магнитомъ, тогда какъ рёнтгеновскіе лучи имъ не отклоняются; правда, катодные лучи, развивающіеся въ разрядной трубкѣ, мало проникающи; но это различіе между катодными и β-лучами легко объясняется различными скоростями этихъ лучей.

Магнитъ отклоняетъ не только β-лучи, но и α-лучи, хотя слабѣе и притомъ въ противоположную сторону; вслѣдствіе этого α-лучи подобны закатоднымъ лучамъ. Если принять, что α лучи тождественны съ закатодными, то они состоятъ изъ потока положительно заряженныхъ частицъ, тогда какъ β-лучи состоятъ изъ потока отрицательно заряженныхъ частицъ. Это можно доказать прямымъ опытомъ: если соль радія положить въ изолированный сосудъ, который свободно пропускаетъ β-лучи и задерживаетъ α-лучи, и соединить этотъ сосудъ съ электрометромъ, то чрезъ нѣкоторое время препаратъ заряжается положительнымъ электричествомъ, ибо отрицательное электричество уносится β-лучами. Если эти послѣдніе попадаютъ на изо-

лированную металлическую пластинку, соединенную съ электроскопомъ, то онъ показываетъ отрицательный зарядъ.

Составляютъ-ли γ-лучи особый родъ лучей, не установлено достовѣрно; эти лучи всего менѣе поглощаются; они пронизываютъ толстыя металлическія пластинки; они не отклоняются магнитомъ. Тѣмъ не менѣе это могутъ быть β-лучи, т. е. катодные лучи особенно большой скорости, которые вслѣдствіе этого не подвергаются дѣйствію даже самыхъ сильныхъ магнитовъ.

Радіотеллуръ испускаетъ одни только α-лучи. Если радіотеллуръ завернуть въ бумагу, то наружу не выходитъ никакихъ лучей. Напротивъ того радій, заключенный даже въ желѣзную коробочку, испускаетъ лучи хотя и ослабленные.

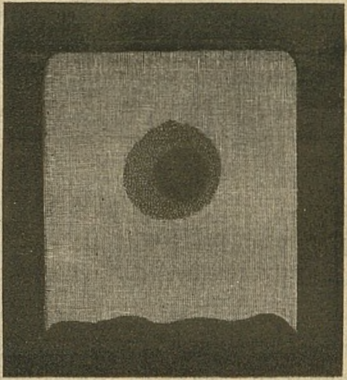
Химическія дѣйствія радіоактивныхъ тѣлъ. Мы ознакомились съ двумя различными дѣйствіями радіоактивныхъ веществъ—съ дѣйствіями на фотографическую пластинку и на электропроводность воздуха. Посмотримъ теперь, какъ въ этомъ отношеніи различаются радій и радіотеллуръ, α- и β-лучи.

Для опытовъ съ радіотеллуромъ пользуются мѣдною пластинкою, на которую электролитически осаждаютъ тонкій слой активнаго металла. Достаточно нѣсколько стотысячныхъ грамма дрогоцѣннаго вещества осадить на 10 □ cm., чтобы произвести опыты, которые описаны ниже. По причинамъ, указаннымъ выше, радій нельзя употреблять въ видѣ такихъ металлическихъ покрововъ; поэтому дѣлаютъ опыты съ солями радія, которыя заключаютъ въ алюминіевую капсюлю; изъ такой капсюли выходятъ одни лишь α-лучи.

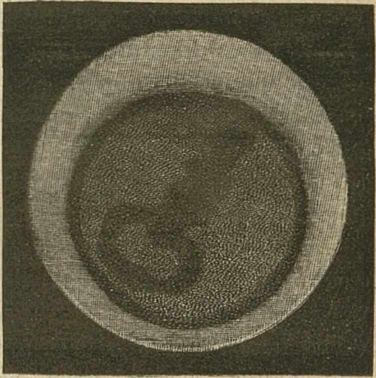
Для обнаруженія фотографическаго дѣйствія α-лучей пластинку съ радіотеллуромъ кладутъ непосредственно на чувствительную сторону фотографической пластинки; тогда достаточно одной минуты экспозиціи для полученія замѣтнаго почерненія пластинки. На фиг. 1 изображенъ позитивъ снимка при помощи радіотеллура; при этомъ между пластинкою съ радіотеллуромъ и фотографическою пластинкою былъ положенъ листочекъ алюминія въ 0·01 mm. толщины и на него меньшій кусочекъ обыкновенной писчей бумаги; изъ снимка видно, что α-лучи, хотя и очень ослабленные, пронизываютъ листочекъ алюминія, но почти совсѣмъ задерживаются писчею бумагою.

Съ радіемъ получаются совершенно другіе снимки, какъ это видно изъ фиг. 2. Здѣсь желѣзный ключекъ былъ помѣ-

щенъ въ картонной коробкѣ, а соль радія, заключенная въ алюминіевую капсюлю, помѣщалась въ разстояніи 10 cm. отъ фотографической пластинки, на которую ставилась коробка съ ключикомъ; экспозиція продолжалась 15 минутъ. Изъ рисунка видно, что β-лучи проходятъ свободнѣе чрезъ картонъ, чѣмъ чрезъ желѣзо, которымъ они почти поглощаются. Этотъ рисунокъ напоминаетъ рёнтгеновскій снимокъ, но здѣсь контуры не такъ



фиг. 1.



фиг. 2.

отчетливы. На снимкахъ руки, сдѣланныхъ съ помощью радія кости выдѣляются лишь очень неясно, ибо дифференцированіе проникаемости β-лучей чрезъ тѣла различной плотности выступаетъ не такъ рѣзко, какъ для рёнтгеновскихъ лучей.

Различіе α- и β-лучей выступаетъ еще рѣзче въ дѣйствіяхъ радія и радіотеллура на электроскопъ. Если къ заряженному электроскопу приблизить мѣдную палочку, на которой осаждено менѣе, чѣмъ милліонная доля миллиграмма радіотеллура, то листочки электроскопа быстро сходятся, разряжаясь чрезъ воздухъ; если же эту палочку завернуть въ писчую бумагу, то она не оказываетъ никакого дѣйствія на электроскопъ: α-лучи не проходятъ чрезъ бумагу и не дѣлаютъ окружающаго воздуха проводящимъ. Если же къ электроскопу приблизить желѣзную капсюлю съ заключеннымъ въ ней препаратомъ радія, то дѣйствіе β-лучей все еще достаточно, чтобы мгновенно разрядить приборъ.

Хотя и α-, и β-лучи дѣйствуютъ на воздухъ, повышая его электропроводность, но въ различной степени: α-лучи сильно поглощаются не только твердыми и жидкими тѣлами, но даже га-

зами; но газы гораздо менѣе плотны, чѣмъ твердыя тѣла; поэтому лучи могутъ пройти чрезъ слой газа въ нѣсколько сантиметровъ толщины, не болѣе ослабляясь, чѣмъ при прохожденіи слоя твердаго тѣла въ 1/100 mm. Именно вслѣдствіе значительнаго поглощенія этихъ лучей газами, они могутъ сильно на нихъ дѣйствовать; если бы лучи не поглощались, то они и не оказывали никакого дѣйствія. Поэтому α-лучи несравненно больше усиливаютъ электропроводность воздуха, чѣмъ β-лучи, которые гораздо слабѣе поглощаются воздухомъ.

Описаніе нѣкоторыхъ опытовъ, которые можно сдѣлать съ радіотеллуромъ, даютъ понятіе о томъ въ какой степени испускаемые имъ α-лучи дѣлаютъ воздухъ проводящимъ. Для такихъ опытовъ вполнѣ достаточно пользоваться описанною выше мѣдною пластинкою съ 0·01 mgr. радіотеллура Если проволокою соединять обкладки заряженной лейденской банки, то происходитъ яркая искра; если одинъ конецъ проволоки приложить къ наружной обкладкѣ, а другой конецъ соединить съ радіотеллуровою пластинкою и его приблизить къ внутренней обкладкѣ, то банка разряжается въ нѣсколько секундъ безъ образованія искры. Если электрическіе колокольчики (приводимые въ дѣйствіе статическимъ электричествомъ) соединить съ радіотеллуровою пластинкою, которую помѣстить въ разстояніи 10 cm. отъ полюса электрической машины, то колокольчики начинаютъ звонить, какъ скоро машина приводится въ дѣйствіе: токъ электричества проходитъ изъ машины въ колокольчикъ по воздуху, который дѣлается электропроводящимъ подъ дѣйствіемъ лучей радіотеллура. Этотъ токъ электричества можно прервать, помѣщая листъ бумаги между полюсомъ машины и радіотеллуровою пластинкою: лучи не проходятъ чрезъ бумагу и по другую ея сторону воздухъ уже не проводитъ электричества; поэтому колокольчикъ молчитъ; если бумагу удалить, то токъ снова замыкается и колокольчикъ опять звонитъ.

Всѣ эти опыты удаются только на небольшомъ разстояніи въ 1 или 2 cm. Воздухъ такъ сильно поглощаетъ α-лучи, что на большемъ разстояніи дѣйствіе ихъ не обнаруживается; между тѣмъ β-лучи радія дѣйствуютъ чрезъ воздухъ на разстояніи нѣсколькихъ метровъ.

Мы ознакомились съ однимъ химическимъ дѣйствіемъ беккерелевскихъ лучей, именно съ ихъ дѣйствіемъ на фотографическую пластинку, основанномъ на химическомъ измѣненіи се-

ребряной соли; но радій можетъ вызывать и болѣе сильныя химическія измѣненія. Извѣстно, что подъ вліяніемъ нѣкоторыхъ электрическихъ разрядовъ кислородъ воздуха можетъ превращаться въ озонъ; и вблизи препарата радія воздухъ непрерывно озонируется. Если соль радія заключить въ стеклянный сосудъ, то стѣнки послѣдняго, смотря по своему составу, окрашиваются въ фіолетовый или коричневый цвѣтъ. Бумага, въ которую завернутъ радіотеллуръ или радій, окрашивается въ желтый или коричневый цвѣтъ и становится ломкою.

Замѣчательное дѣйствіе, хотя вѣроятно и не химическое, производитъ радій или скорѣе β-лучи на многія соли, какъ напримѣръ поваренная или хлористый кали; эти безцвѣтныя соли, будучи подвергнуты въ теченіе нѣсколькихъ дней дѣйствію лучей, сильно окрашиваются; поваренная соль окрашивается при этомъ въ желто-коричневый цвѣтъ, а хлористый калій—въ фіолетовый; сохраняемыя въ темнотѣ, соли удерживаютъ эту окраску; но вынесенныя на дневной свѣтъ или нагрѣтыя, они опять обезцвѣчиваются.

Выдѣленіе тепла. Радій не только непрерывно испускаетъ беккерелевскіе лучи, но постоянно развиваетъ теплоту. Если нѣсколько дециграммовъ соли радія помѣстить въ сосудъ, хорошо защищенный отъ потери тепла лучеиспусканіемъ, то опущенный туда термометръ показываетъ температуру на нѣсколько градусовъ выше температуры окружающаго пространства. При помощи калориметра можно было измѣрить количество тепла, испускаемаго хлористымъ радіемъ; при этомъ было найдено, что въ теченіе часа 1 gr. соли развиваетъ отъ 80 до 100 gr.-cal. тепла, которое достаточно для нагрѣванія 80 или 100 граммовъ воды на 1°Ц.; отсюда слѣдуетъ, что 6 или 8 kgr. радія даетъ теплоту, эквивалентную одной паровой лошади. Такимъ образомъ, если бы имѣлся радій въ достаточномъ количествѣ, то имъ можно было бы приводить въ дѣйствіе паровыя машины.

Фосфоресценція. Всякую форму энергіи можно превращать въ другую; съ помощью тепла или электричества мы можемъ производить свѣтъ; такимъ же образомъ беккерелевскіе лучи можно превратить въ свѣтящіе лучи: на подобіе рёнтгеновскимъ лучамъ они вызываютъ свѣченіе нѣкоторыхъ фосфоресцирующихъ веществъ; особенно сильно фосфоресцируютъ ціанистоплатиновый барій, окись цинка, нѣкоторые минералы, какъ ше-

елитъ и виллемитъ, наконецъ брилліанты. Свойство брилліантовъ свѣтиться подъ вліяніемъ беккерелевскихъ лучей имѣетъ практическое значеніе, позволяя легко и вѣрно различать настоящій брилліантъ отъ фальшиваго.

α- и β-лучи не всегда оказываютъ фосфоресцирующія дѣйствія; одни вещества лучше фосфоресцируютъ подъ вліяніемъ одно рода лучей, другія—подъ вліяніемъ другого рода. Особенно интересенъ сѣрнистый цинкъ (особымъ образомъ приготовленный и извѣстный подъ названіемъ Sidotblende), который фосфоресцируетъ только подъ дѣйствіемъ α-лучей: покрытый сѣрнистымъ цинкомъ экранъ, будучи подвергнутъ дѣйствію α-лучей, подъ лупою представляется свѣтящимся, но не сплошь, какъ ціанисто-платиновый барій, а лишь въ отдѣльныхъ точкахъ, которыя то вспыхиваютъ, то тухнутъ.

Сами радіоактивныя вещества не свѣтятся; но многія не совсѣмъ чистыя соли радія слабо свѣтятся, въ особенности обезвоженный хлористый или бромистый радій, къ которымъ примѣшано много соли барія; это свѣченіе обусловливается тѣмъ, что обезвоженная соль барія фосфоресцируетъ подъ вліяніемъ беккерелевскихъ лучей.

Въ связи съ фосфоресценціею находится своеобразное явленіе, наблюдаемое когда въ темной комнатѣ препаратъ радія приближается къ закрытому глазу: тогда въ послѣднемъ получается свѣтовое впечатлѣніе; подобное тому, которое испытывается при переходѣ съ закрытыми глазами изъ темной комнаты въ ярко освѣщенную; сильные препараты радія вызываютъ это свѣтовое впечатлѣніе даже когда прикладываются къ затылку. Явленіе сводится къ тому, что стекловидное тѣло глаза приводится въ фосфоресценцію беккерелевскими лучами.

Физіологическія дѣйствія. Лучи радія производятъ и другія физіологическія дѣйствія; сначала они обнаружились довольно непріятнымъ образомъ. Кюри на себѣ самомъ замѣтилъ, что при продолжительномъ дѣйствіи на кожу радій вызываетъ острое воспаленіе, которое очень трудно излѣчивается. Послѣ этого открытія естественно возникъ вопросъ о томъ, нельзя-ли дѣйствія радія примѣнить къ лѣчебнымъ цѣлямъ; тогда было найдено, что беккерелевскіе лучи, въ особенности слабо-проникающіе, убиваютъ бактеріи; конечно и ультрафіолетовые лучи задерживаютъ развитіе бактерій; но эти послѣдніе, вслѣдствіе

своего сильнаго поглощенія, дѣйствуютъ только на поверхности, тогда какъ беккерелевскіе лучи проникаютъ и въ такія мѣста, которыя недоступны свѣтовымъ лучамъ. И на высшіе организмы беккерелевскіе лучи дѣйствуютъ смертельно: мыши, лягушки и морскія свинки, въ теченіе нѣсколькихъ дней подвергаемыя дѣйствію лучей, погибаютъ въ параличномъ состояніи. Послѣ этого понятно заявленіе Кюри, что онъ не рѣшился бы войти въ комнату, въ которой лежалъ бы килограмъ радія.

При умѣломъ примѣненіи лучей радія ихъ разрушительное дѣйствіе ограничиваютъ уничтоженіемъ болѣзненныхъ новообразованій. Такъ волосы на кожѣ могутъ быть уничтожены, если соотвѣтственное мѣсто нѣсколько разъ подвергается дѣйствію лучей. Важнѣе результаты, которые достигнуты при лѣченіи опасныхъ кожныхъ болѣзней, какъ лупусъ или ракообразныя опухоли. Впрочемъ еще не имѣется достаточно наблюденій, чтобы составить окончательное сужденіе о терапевтическомъ значеніи беккерелевскихъ лучей.

Эманація. До сихъ поръ мы говорили о радіоактивныхъ веществахъ и объ испускаемыхъ ими лучахъ. Нѣкоторыя радіоактивныя вещества кромѣ этихъ лучей испускаютъ еще нѣчто, именно газообразное вещество, которое въ свою очередь радіоактивно. Это вещество въ крайне ничтожномъ количествѣ непрерывно испускается радіемъ, въ еще меньшемъ количествѣ ураномъ и торіемъ и вовсе не испускается радіотеллуромъ. Это вещество названо *эманаціею.* Въ смоляной рудѣ находятся слѣды нѣкоторыхъ земель, названныхъ *актиніемъ* и *эманіемъ*, которыя въ особенно сильной мѣрѣ выдѣляетъ эманацію. На сколько эманаціи различныхъ тѣлъ отличаются другъ отъ друга открытый вопросъ. Въ послѣдующемъ мы ограничимся только эманаціею радія.

Если эманацію пропускать чрезъ сосудъ, погруженный въ жидкій воздухъ (-192^0), то она сгущается; при ничтожномъ количествѣ эманаціи капельки жидкости, конечно, не видно, но эманація удерживается въ сосудѣ; если же сосудъ вынуть изъ охлаждающей жидкости, такъ чтобы онъ нагрѣлся, то эманація снова обращается въ газъ.

Наведенная активность. Эманація обладаетъ свойствомъ отдавать свою активность всѣмъ предметамъ, съ которыми она соприкасается; въ этихъ предметахъ *наводится активность.* Поэтому всѣ предметы, находящіеся въ одномъ помѣщеніи съ

радіемъ и не отдѣленные отъ него непроницаемою для газовъ перегородкою, становятся активными. Такимъ образомъ можно получить радіоактивную бумагу, стекло, металлъ и т. д. Наведенная активность предмета однако быстро убываетъ, какъ только его удаляютъ изъ подъ вліянія эманаціи и чрезъ день едва замѣтна. Эту активность можно усилить, не увеличивая впрочемъ ея продолжительности, заряжая отрицательно наводимый предметъ и положительно соль радія: эманація притягивается отрицательно-заряженнымъ тѣломъ и отталкивается отъ положительно заряженнаго.

Эти обстоятельства подали поводъ къ опытамъ, которые указываютъ на то, что наша атмосфера содержитъ эманацію. Мы уже упоминали, что атмосферный воздухъ никогда не бываетъ совершеннымъ изоляторомъ; о причинѣ незначительной и измѣняющейся проводимости воздуха мнѣнія расходятся; но естественно предположить, что воздухъ содержитъ слѣды радіоактивнаго вещества, напримѣръ эманацію радія. Для провѣрки этого предположенія мѣдную проволоку въ 20 m. длины подвѣшивали на свободномъ воздухѣ и сильно заряжали отрицательнымъ электричествомъ; чрезъ нѣсколько часовъ проволока дѣйствительно обнаруживала радіоактивность: она разряжала электроскопъ и дѣйствовала на фотографическую пластинку. Активное вещество можно было стереть съ проволоки тряпкою, хотя на ней и не оставалось замѣтныхъ слѣдовъ. Чрезъ нѣсколько часовъ проволока совершенно теряла свою активность.

Какъ же попадаетъ эманація въ нашу атмосферу? Можно одно только предположить, что радіоактивное вещество происходитъ изъ почвы. Это предположеніе подтверждается прежде всего тѣмъ, что воздухъ, только-что взятый изъ почвы, обладаетъ большею проводимостью, чѣмъ атмосферный. Далѣе въ воздухѣ, выдѣляемомъ водою источниковъ, было доказано присутствіе эманаціи. Наконецъ тщательныя изслѣдованія непосредственно доказали, что почва радіоактивна. Эта радіоактивность вообще очень мала; но существуютъ указанія, что на бо́льшихъ глубинахъ земная кора богаче активными веществами. Нѣкоторые источники вмѣстѣ съ водою извергаютъ вулканическую грязь, извѣстную подъ названіемъ „фанго“ и давно уже примѣняемую для лѣчебныхъ цѣлей; она гораздо активнѣе окружающей почвы. Несомнѣнно, что эта грязь содержитъ радій, хотя лишь въ очень небольшомъ количествѣ. Эти горячіе ис-

точники, очень глубокіе, какъ напримѣръ карлсбадскій источникъ, выдѣляютъ больше эманаціи, чѣмъ воды обыкновенныхъ источниковъ.

Причина радіоактивности. Остается еще интересный вопросъ, рѣшеніе котораго очень занимаетъ ученыхъ. Откуда происходитъ энергія, непрерывно выдѣляемая радіоактивными веществами, тогда какъ ихъ дѣятельность повидимому не ослабѣваетъ? Усомнимся-ли мы въ подтверждаемомъ всѣми прежними наблюденіями законѣ сохраненія энергіи потому, что радій излучаетъ теплоту, которою онъ можетъ непрерывно двигать машины, не пополняя извнѣ своего запаса энергіи? Не имѣемъ-ли мы тутъ perpetuum mobile?

Непродолжительное изученіе явленія еще недостаточно для полнаго разъясненія этого вопроса. Но вмѣстѣ съ тѣмъ несомнѣнно, что нѣтъ основаній считать потрясенными основныя положенія ученія о природѣ.

Очень удовлетворительное объясненіе источника энергіи беккерелевскихъ лучей заключается въ слѣдующемъ. Мы замѣчаемъ силы, дѣйствующія вокругъ насъ, только по тѣмъ ихъ дѣйствіямъ, которыя ощущаются нашими органами чувствъ. Объ ультрафіолетовыхъ лучахъ, доходящихъ до насъ отъ солнца и не дѣйствующихъ на глазъ, мы имѣемъ свѣдѣнія лишь потому, что ихъ энергія, превращаясь въ химическую и дѣйствуя на фотографическую пластинку, доступна глазу. Можно думать, что до насъ доходятъ и иныя еще формы энергіи, о которыхъ мы ничего не знаемъ, ибо ихъ дѣйствія не воспринимаются нами. Можетъ быть, существуютъ такіе лучи, которые проходятъ большинство тѣлъ, не поглощаясь ими, какъ свѣтовые лучи проходятъ чрезъ прозрачныя тѣла. Такіе лучи могутъ поглощаться исключительно радіоактивными тѣлами и приводить къ нимъ энергію, которую они затѣмъ отдаютъ наружу въ видѣ беккерелевскихъ лучей. Эта гипотеза настолько удовлетворительна, что ее едва-ли можно опровергнуть; но столь же трудно было бы ее и подтвердить.

Въ новѣйшее время все болѣе распространяется другая гипотеза, которая источникъ энергіи усматриваетъ въ матеріальномъ измѣненіи радіоактивныхъ веществъ. Мы видѣли, что радій выдѣляетъ эманацію. Эта радіоактивная эманація превращается въ неактивный газъ—гелій. Можно думать, что при

образованіи эманаціи радій разлагается и что при этомъ измѣненіи освобождается энергія въ формѣ какъ тепла, такъ и беккерелевскихъ лучей. Извѣстно вѣдь, что при химическихъ измѣненіяхъ вещества очень часто выдѣляется теплота. Конечно тутъ выдѣленіе энергіи совершенно иного порядка, чѣмъ при остальныхъ химическихъ процессахъ. Ибо тогда, какъ количество тепла, излучаемое граммомъ радія, можно безъ труда опредѣлить грубыми пріемами, потерю вѣса радія не удается доказать даже самыми чувствительными вѣсами.

Если принять эту гипотезу, то радіоактивность вещества нельзя уже считать вѣчнымъ: эта активность ограничена во времени; относительно эманаціи это доказано: какъ мы уже видѣли, этотъ газъ въ теченіе нѣсколькихъ дней теряетъ способность испускать лучи; соотвѣтственно этому его дѣйствія, при равныхъ массахъ, наибольшія, ибо едва уловимое количество эманаціи оказываетъ замѣтныя свѣтовыя и тепловыя дѣйствія.

Вслѣдъ за эманаціею полоній и близкій къ нему радіотеллуръ испытываютъ скорѣйшія превращенія; повидимому ихъ продолжительности исчисляются лишь годами. Совсѣмъ иначе дѣло обстоитъ съ радіемъ; было вычислено, что распаденіе радія продолжается отъ одной до двухъ тысячъ лѣтъ.

Теперь возникаетъ вопросъ, откуда происходитъ радій, который нынѣ выдѣляется смоляною рудою. Эта руда вѣдь гораздо старѣе, чѣмъ нѣсколько тысячелѣтій. Какъ же въ ней еще встрѣчается радій? Припомнимъ, что смоляная руда есть руда урана, и что уранъ тоже радіоактивное вещество, хотя и слабаго дѣйствія. Если радіоактивное вещество есть вещество, испытывающее химическое превращеніе, и если наиболѣе активныя вещества всего быстрѣе превращаются, то продолжительность существованія урана гораздо больше, чѣмъ радія, и должна исчисляться милліонами лѣтъ. Можно представить себѣ, что въ то время, когда уранъ превращается въ радій, этотъ послѣдній распадается далѣе въ эманацію и наконецъ въ гелій.

Высказывая эти соображенія, мы оставили твердую почву фактовъ и вступили въ безпредѣльную область фантазій. Тѣмъ не менѣе подобныя соображенія все-таки полезны, ибо они, если и заключаютъ въ себѣ представленія, которыя оказались бы впослѣдствіи невѣрными, даютъ поводъ къ дальнѣйшимъ изслѣдованіямъ, которыя прольютъ свѣтъ на занимающій насъ вопросъ. Такъ именно только-что указанная гипотеза дала поводъ под-

твердить одно обстоятельство, которое сначала принималось, какъ теоретическое ея слѣдствіе. Если радій происходитъ изъ урана и затѣмъ распадается, то чрезъ нѣкоторое время, напримѣръ чрезъ нѣсколько тысячъ лѣтъ, устанавливается равновѣсіе, такъ что возникаетъ именно столько радія, сколько за то же время его исчезаетъ; послѣ этого между существующими количествами урана и радія должно быть опредѣленное отношеніе. Въ теченіе геологическихъ періодовъ это состояніе равновѣсія должно было наступить въ урановыхъ рудахъ, и потому содержаніе радія въ какой-нибудь рудѣ должно быть въ прямой зависимости отъ содержанія въ ней урана. Этотъ вопросъ, хотя и съ большимъ трудомъ, можетъ быть подвергнутъ опытной провѣркѣ. Химическое и физическое изслѣдованіе многихъ урановыхъ рудъ привело къ заключенію, указывающему на то, что дѣйствительно содержанія радія и урана въ рудѣ находятся въ опредѣленномъ отношеніи.

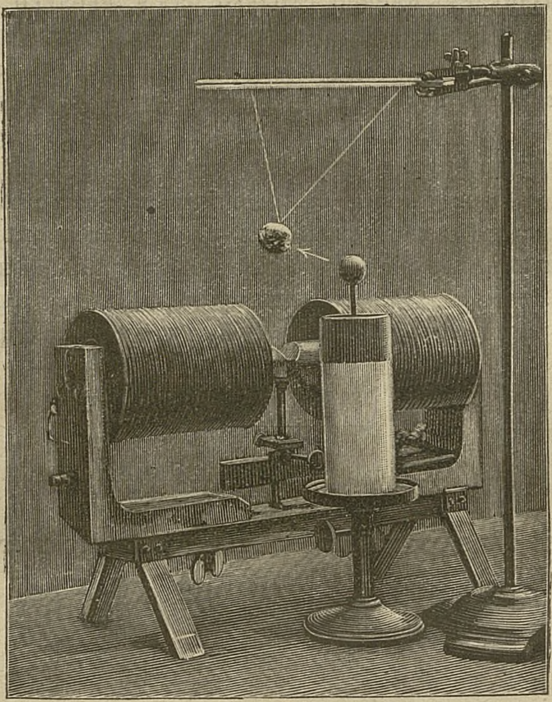
Потеря заряда въ іонизированномъ газѣ

Н. А. Орлова

Описываемые ниже опыты служатъ для лекціонныхъ демонстрацій какъ электропроводности іонизированнаго воздуха, такъ и магнитнаго отклоненія беккерелевскихъ лучей.

1. Служащій для опытовъ электрическій маятникъ (фиг. 1) состоитъ изъ шарика въ 3 или 4 cm. діаметра, склееннаго изъ красной папиросной бумаги; шарикъ этотъ подвѣшивается на двухъ шелковинкахъ къ горизонтальной стеклянной палочкѣ, зажатой въ штативъ; такой маятникъ движется только въ одной плоскости и тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ больше разставлены верхніе концы нитей. Лейденская банка ставится такъ, чтобы ея головка помѣщалась въ плоскости движенія маятника и прикасалась къ его шарику, когда тотъ отвѣсенъ.

Если лейденскую банку зарядить, то прикасающійся къ ней шарикъ маятника наэлектризовывается и, отскочивъ отъ банки на значительное разстояніе, долго не опускается, если шарикъ не теряетъ своего заряда.



фиг. 1.

Такъ бываетъ въ непроводящемъ воздухѣ; если же воздухъ обладаетъ электропроводностью, если онъ іонизированъ, то маятникъ нашъ качается: прикоснувшись къ лейденской банкѣ и зарядившись, маятникъ отбрасывается, но скоро разряжается въ іонизированномъ воздухѣ, опять падаетъ на шарикъ лейденской банки, заряжается, отбрасывается и т. д. Для требуемой іонизаціи воздуха достаточно недалеко отъ положенія равновѣсія маятника помѣстить коробочку съ бромистымъ радіемъ (5 mgr.), рёнтгеновскую трубку или наконецъ горящую спичку.

При опредѣленномъ напряженіи лейденской банки продолжительность отдѣльныхъ качаній маятника и его амплитуды за-

висятъ отъ скорости исчезновенія его заряда, т. е. отъ степени іонизаціи окружающаго воздуха. Для отчетливости опыта слишкомъ сильная іонизація воздуха невыгодна, ибо тогда маятникъ разряжается, не успѣвъ замѣтно перемѣститься, и его движенія обращаются въ быстрое трепетаніе у самой банки, которое издали не видно.

2. На фиг. 1 представлено расположеніе приборовъ для опыта съ магнитнымъ отклоненіемъ лучей радія. Отталкиваемый отъ лейденской банки шарикъ маятника поднимается надъ полюсами электромагнита Румкорфа, подъ которыми помѣщена коробочка съ бромистымъ радіемъ. Пока магнитное поле не образовано, маятникъ качается, послѣдовательно извлекая изъ лейденской банки электрическіе заряды; когда же цѣпь электромагнита замкнута и лучи радія отклонятся въ сторону, воздухъ на пути маятника не будетъ іонизироваться, и маятникъ, отброшенный отъ банки, остановится надъ радіемъ.

3. Перемѣщенія легкихъ тѣлъ, имѣющихъ возможность въ іонизированномъ воздухѣ періодически приближаться къ заряженному проводнику и такимъ образомъ возобновлять свои скоро утрачиваемые заряды, легко превратить въ непрерывное вращеніе.

На остріе иголки (воткнутой ушкомъ въ кусокъ парафина) надѣваютъ маленькій стеклянный колпачекъ съ тремя горизонтальными симметрично приклеенными мастикою тонкими спицами (вытянутыми изъ стеклянной трубки, размягченной на паяльномъ пламени) длиною около 5 cm.; къ концу каждой спицы прикрѣпленъ позолоченный легкій шарикъ (изъ бузинной сердцевины) 10 mm. въ діаметрѣ.

Приборъ ставится такъ, чтобы при вращеніи шарики проходили возможно близко отъ стержня лейденской банки, не задѣвая его, но заряжаясь проскакивающими отъ него искорками. Въ нормальныхъ условіяхъ наша вертушка, сдѣлавъ нѣсколько поворотовъ въ ту и другую сторону, останавливается въ опредѣленномъ положеніи, вслѣдствіе взаимодѣйствій между зарядами бузинныхъ шариковъ и банки. Съ іонизаціею окружающаго воздуха шарики разряжаются; при этомъ малѣйшее неравенство убыванія зарядовъ шариковъ неизбѣжно нарушаетъ симметрію поля и выводитъ легко подвижную вертушку изъ равновѣсія; отсюда первый толчекъ вращенію, продолжающемуся затѣмъ не-

прерывно съ тѣмъ большею скоростью, чѣмъ сильнѣе іонизація окружающаго воздуха.

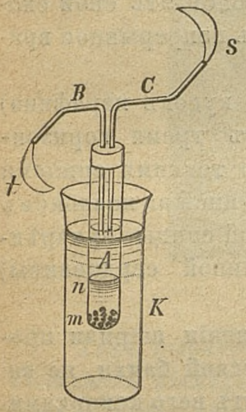
4. Если въ описанныхъ опытахъ зарядъ лейденской банки постояненъ или лишь очень медленно убываетъ (его поддерживаютъ небольшою электрическою машиною), то продолжительность качаній маятника или скорость вращенія вертушки служатъ—въ первомъ приближеніи—указателемъ на степень іонизаціи окружающаго воздуха.

Спб., 1904.

Сегнерово колесо

Г. Э. Риттера

Пробирка *A* (фиг. 1) закрывается пробкою, чрезъ которую проходятъ двѣ стеклянныхъ трубочки *B* и *C*, согнутыхъ на три части по тремъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ; наружные концы трубочекъ слегка оттянуты; на дно пробирки насыпано немного дроби (*m*), чтобы весь приборъ, плавая въ водѣ, сохранялъ отвѣсное положеніе. Для приведенія прибора въ дѣйствіе, въ пробирку наливаютъ немного эфира (*n*), закрываютъ пробкою и погружаютъ ее въ глубокій сосудъ *K* съ теплою водою (около 40° Ц.); эфиръ скоро закипаетъ и пары его, выходя изъ отогнутыхъ концовъ трубочекъ *B* и *C*, приводятъ плавающую пробирку въ быстрое вращеніе. Вырывающіеся изъ трубочекъ пары эфира можно зажечь и тогда вращеніе пробирки будетъ видно издали.



фиг. 1.

Описанный приборъ очень легко изготовить самому; опытъ съ нимъ не только демонстрируетъ дѣйствіе истекающихъ паровъ (а слѣдовательно и газовъ) на стѣнки трубокъ, но представляетъ также поучительный примѣръ превращенія тепла въ механическую энергію.

Москва, 1905.